

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-259222

(43)Date of publication of application : 22.09.2000

(51)Int.Cl.

G05B 23/02  
H01L 21/02

(21)Application number : 11-056610

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 04.03.1999

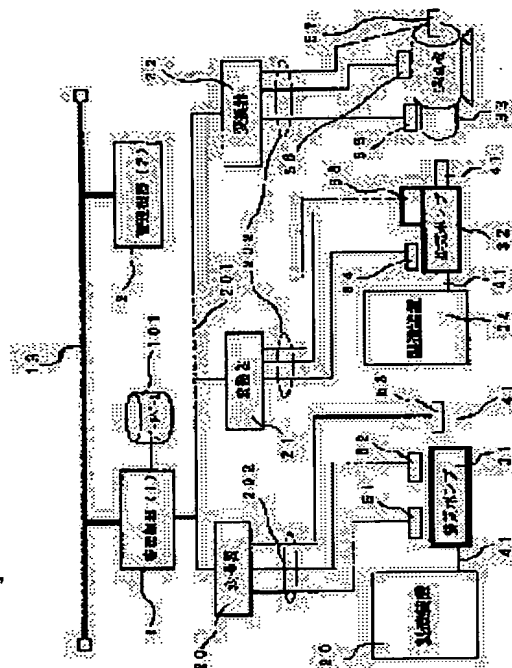
(72)Inventor : HIDA TOMOYUKI  
ONOSE TOSHIHIRO

## (54) DEVICE MONITORING AND PREVENTIVE MAINTENANCE SYSTEM

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To automatically collect state changes such as deterioration signs when incidental equipment is in a normal operation mode, in an abnormal or failure operation mode by providing a monitoring and managing device, etc., having a means which processes data from each device and calculates maintenance information, operation information, etc.

**SOLUTION:** This system consists of a management device (1) 1, a management device (2) 2, the database 101 of the device (1) 1, exhaust pumps 31 and 32 as incidental equipment to be objects to be monitored, a blower 33, various sensors 51 to 57 attached to the respective pieces of incidental equipment being monitored objects and converters 20 to 22 which receive signals from the sensors 51 to 57 and convert them into prescribed signals. The various sensors 51 to 57 are connected to the converters 20, 21 and 23 with a sensor signal cable 202, and the converters 20, 21 and 23 are connected to the device (1) 1 through a communication cable 201. Further, the device (1) 1 is connected to the device (2) 2 through a LAN 13. Thus, it is possible to accurately and also rapidly decide deterioration, a failure, etc., and to take countermeasures.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.05.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration] withdrawal

[Date of final disposal for application] 31.03.2003

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2000-259222  
(P2000-259222A)

(43)公開日 平成12年9月22日(2000.9.22)

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	特許庁(参考)
G 0 5 B 23/02		G 0 5 B 23/02	R 5 H 2 2 3
			T
H 0 1 L 21/02		H 0 1 L 21/02	Z

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 25 頁)

(21)出願番号 特願平11-56610

(22)出願日 平成11年3月4日(1999.3.4)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 飛田 朋之

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株  
式会社日立製作所計測器事業部内

(72)発明者 小野瀬 俊宏

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株  
式会社日立製作所計測器事業部内

(74)代理人 100068504

弁理士 小川 勝男

Fターム(参考) 5H223 AA05 DD03 DD05 DD09 EE06

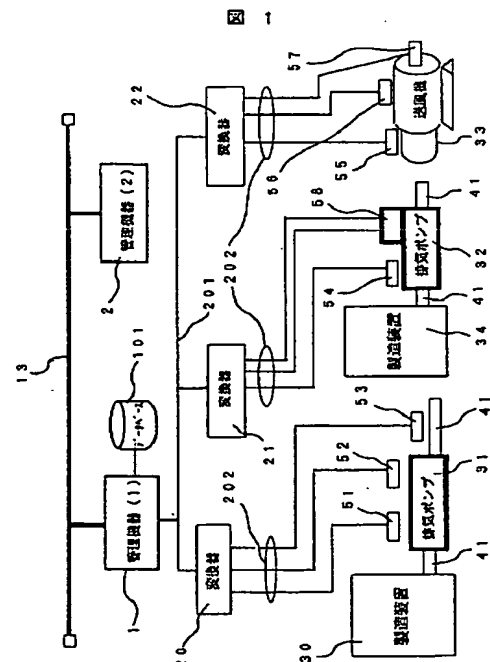
(54)【発明の名称】 機器監視・予防保全システム

(57)【要約】

【課題】半導体製造装置に具備される排気ポンプや一般産業用の回転機器等の状態監視と、並びにその予防保全・計画を実現する。

【解決手段】機器にその状態変化を二次的に捕らえることのできる多次元のセンサを配設し、前記センサ群からの情報を基に、前記機器の状態変化や保守管理を実現する管理機器を配設し、前記センサからの情報により、前記管理機器内に具備された機器の劣化診断と速度予測する計算手段にて、前記機器の状態の監視やその状態変化を予測し、さらにその結果を前記管理機器の表示手段にて開示し、前記管理機器にはこれらのデータを保存・蓄積するデータサーバ部を具備し、前記管理機器に具備した入力手段にて、この情報の編集・追加・登録をできるように構成する。

【効果】機器の総合的な監視と劣化の診断・分析・判断を実施できるようにしたので、確度の高い機器の予防保全を実現できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体製品のプロセス処理を行う製造装置に付帯する排気ポンプや、一般の産業プラント用の送風機等の回転機器等を監視、或いはこれら機器の計画的な保全を実現し、前記機器の監視と予防保全計画等を実施する機器の監視・予防保全システムにおいて、

前記機器にその状態変化を二次的に捕らえることのできる多次元（多種類）のセンサを配設し、

前記センサ群からの情報（収集されたデータ）を基に前記機器の状態変化や保守管理を実現する管理機器を配設し、

前記管理機器には管理者や作業者に対して、前記機器の状態変化の監視や管理内容・項目を要求するためのガイダンス機能を有し、

前記管理機器と前記センサ群との間に、前記センサ群からの情報を正規化或いは前記情報の加工機能を有する変換器で構成し、

前記管理機器と前記変換器と前記センサ群とは電氣的に接続され、前記センサからの情報により、前記管理機器内に具備された計算手段にて、前記機器の状態変化の監視やその劣化・故障及びその速度等の状態変化を把握し、さらにその結果を前記管理機器の表示手段にて開示し、

前記管理機器にはこれらのデータを保存・蓄積するデータサーバ部を具備し、前記管理機器に具備した入力手段にて、この情報の編集・追加・登録をできるように構成してあることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項2】前記請求項第1項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記管理機器に、前記機器の多次元の状態変化（センサ情報）から、その変化を前記機器の表示部に表示或いは開示する機能と、前記機器の動作状況の状態変化の固有モードを決定する基準空間を作成する計算機能（計算手段又はアルゴリズム）を具備してあることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項3】前記請求項第2項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の基準空間は前記機器を新たに導入する場合、また前記機器が保全や修理された時期後に再度運転を継続する場合に適用していることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項4】前記請求項第2項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の基準空間は前記センサ群のデータより、

（1）：前記機器の固有モードの空間（基準空間）を作成するデータを収集し、そのデータ数は、少なくとも前記機器に取り付けたセンサの数以上であるが、その2から3倍数である。

（2）：前記機器の（1）項のデータを前記各要素毎

（センサ毎）に、その平均値と標準偏差で正規化する。

（3）：（2）項のデータから、前記各要素の数のみで決定される2次元の相関行列を作成し、さらにこの行列を加工して、前記行列のマハラノビスの距離を求め、これらの距離で決定した分布状態（その平均値は0で、その標準偏差は約1）を前記機器の基準空間としてあることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項5】前記請求項第2項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の基準空間において、前記各センサで観測される期待値以外（基準空間作成時の各センサの標準偏差の3倍以上の値）の値を設定してマハラノビスの距離を求め、この値を前記機器の“基準空間”からの“最低隔離距離”とし、前記値を前記機器の“劣化の兆候の始点”或いは“異常の始点”として設定してあることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項6】前記請求項第2項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の基準空間と、前記管理機器のガイダンス機能により計画的に収集される前記機器のデータを前記管理機器の表示部に表示・開示すると共に、前記収集されたデータを前記基準空間を作成した行列を適用して計算した観測値のマハラノビスの距離を計算し、この値と前記基準空間との値とを比較しながら、前記機器を監視していることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項7】前記請求項第2項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の稼働時の動作空間を、前記機器から収集されたデータを前記基準空間を作成した行列を適用して計算した観測値のマハラノビスの距離にて計算して作成し、この計算された値にて、前記機器の時系列的な状態変化を監視し続け、かつ前記計算手段にてその進行状況を診断・判断して前記機器の予防保全を実施していることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項8】前記請求項第2項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の稼働時の動作空間の最大許容値を、前記機器の基準空間作成時に使用した前記各センサで観測される期待値以外（基準空間作成時の各センサの標準偏差の3倍以上の値）の値で且つ前記機器の最大許容使用条件に対応した前記各センサの値にて計算されるマハラノビスの距離にて決定し、この値で前記機器の保守期間値を求め、且つ監視指標としていることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項9】前記請求項第2項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の稼働時の動作空間の最大許容時間を、前記機器の“劣化の兆候の始点”或いは“異常の始点”と、前記機器の最大許容値と、前記機器の稼働中の状態変化から逐次計算されるマハラノビスの距離とにより、また

この値は前記機器の状態変化が収集される毎に計算して状態変化のデータを積み上げつつ、この値の時系列変化を時間関数にて適合して計算される値にて、前記機器の最大許容時間を決定していることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項10】前記請求項第9項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の時系列変化を表現している時間関数を、少なくとも、線形形、指数形、成長形、と特殊形関数とし、これらの関数値と前記収集された実績データとの残差が最も少ない関数にて、前記最大許容時間を計算していることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項11】前記請求項第9項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の時系列な状態変化において、前記観測・計算されたマハラノビスの距離を指標として、その機器の信頼度や故障率をワイブル分布或いは指数分布にて近似し、それらの係数を前記マハラノビスの距離の計算データから算出して前記機器の母集団の指標を求め、この値で前記機器の状態変化を管理できる構成として、

【請求項12】前記請求項第9項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の状態変化を示すワイブル分布或いは指数分布の係数を求める手法として、

①：データを小さい順より並べる。

②： $F(t)$  の推定値として、(小さい方からの故障順位) / (総データ数 + 1) 或いは、その逆順位の逆数を計算する。これは各時刻でのハザード ( $H(t)$ ) の推定値である  $F(t) = 1 - \exp(-H(t))$  を求める。

③：形状パラメータ ( $m$ ) を求める。

④：尺度パラメータ ( $\eta$ ) を求める。

⑤：ある規定の時間  $t$  における信頼度を求める。

上記フローによるアルゴリズムを前記管理機器の計算手段部に具備されていることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項13】前記請求項第9項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の状態変化を示すワイブル分布或いは指数分布の係数を求める手段として、最尤法を適用し、そのアルゴリズムを前記管理機器の計算手段部に具備されていることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項14】前記請求項第1項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の状態変化を二次的に捕らえることのできる各種のセンサを具備し、前記センサは、第一には振動センサを用いて機器の部材や軸受やケーシングの加速度や速度や変位の実効値とその周波数と振幅データを収集し、又前記振動データとは別に圧力或いは流量センサを用いて、機器の出力である吐出圧力や配管の流体抵抗を含め

た圧力、流量のデータ収集し、又温度センサを用いて前記機器の軸受温度やケーシングの表面温度データ (単点) 或いはサーモグラフにて温度分布データを収集し、又電力計や絶縁計を用いて前記機器の使用電力や絶縁のデータを収集し、又音響センサを用いて、機器を構成している部材の内部に亀裂等が発生し、進展する場合に発生する音響のデータを収集し、又機器の運転を規定している例えば、立ち上げ時間、稼働プロファイル時間等の間接的な管理データから、種々の時間データを収集し、或いは前記機器の運転や管理や保守等を規定している例えばグリースの交換頻度、オイルメンテナンス等の管理値のデータを収集できるセンサデータ或いは管理情報とて構成していることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項15】前記請求項第1、14項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の固有の状態変化を、少なくとも2つ以上の前記センサからの観測・収集されるパラメータ (データ) で決定してあることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項16】前記請求項第14項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の固有の状態変化のパラメータ (データ) を、前記機器の構成部材やケーシングや軸受等の機器自身の状態変化 (内的な要因変化) を二次的に捕らえることのできるセンサと、前記機器が設置環境によりその稼働状態・動作状態が変化 (外的な要因変化) する場合にそれらのデータを二次的に捕らえることのできるセンサとの組合せで構成してあることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項17】前記請求項第14項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の固有の状態変化のパラメータ (データ) を、前記振動データを内的要因のパラメータとし、前記振動データ以外の物理量である圧力や流量や温度等のデータを外的要因パラメータとして構成し、或いは前記音響センサを内的要因のパラメータとして構成してあることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項18】前記請求項第15項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の外的要因パラメータとして、前記機器を制御している機器自身の物理量のパラメータを直接収集し、これらのデータを前記基準空間作成時並びに前記機器の動作の状態変化データとして活用できるように構成してあることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項19】前記請求項第1項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の状態変化を二次的に捕らえることのできる各種のセンサ群からの情報を前記管理機器の前記データサーバー部に、前記機器単位で機器の状態変化を示したパラ

メータの情報と前記機器の保全や修理等の保安全管理項目の“列”と、その時系列的変遷を“行”単位で構成する二次元の表形式で構成し、更に前記管理機器の前記ガイド機能に従って、入力手段により、随時それらの項目を編集あるいは追加や削除ができるように構成してあることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項20】前記請求項第1項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の状態変化を二次的に捕らえることのできる各種のセンサ群からの情報を前記管理機器にロワークスやデバイスネット等のオープン化された通信技術により、これらの情報を収集できる構成としていることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項21】前記請求項第1項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の状態変化を二次的に捕らえることのできる各種のセンサ群からの情報を前記管理機器以外の他のシステムの管理機器や他の遠方の事務所の管理機器にLAN等のネットワークを介して、前記機器の状態変化を転送・開示できる構成としていることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項22】前記請求項第1項の機器監視・予防保全システムにおいて、

前記機器の状態変化を二次的に捕らえることのできる各種のセンサ群からの情報を前記管理機器以外の他のシステムの管理機器や他の遠方の事務所の管理機器にLAN等のネットワークを介して、前記機器の状態変化を転送・開示できる構成としていることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は機器の予防保全システムに関し、特に半導体製造装置に具備される排気ポンプや一般産業用の回転機器等の設備の予防保全に係り、機器からの状態変化情報と管理情報とを統合して、機器の監視と予防保全を実現するシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】従来技術を半導体工場の製造ラインに適用されている排気ポンプを例にとり説明する。

【0003】現在の半導体工場の製造ラインでは、より高効率の生産システムの構築によりタイムリーな生産立ち上げを実施する必要がある。かかる生産システムの使命は、歩留まり、品質の向上、TAT短縮、スループット向上であり、製造設備の自動化運転と生産管理を融合したシステムが必要であり、半導体工場を含む生産工場の生産システムは生産計画に基づき、生産設備を制御するFMS(Flexible Manufacturing System)化が進み、これを実現するためのネットワークを利用したCIM(Computer Integrated Manufacturing)化が強力に推進されている。

【0004】半導体製造装置に付帯する排気ポンプやその他の機器については、機器に発生した異常を捉え、その情報をもとに確度の高いメンテナンスを実現する予防保全システムが種々提案されているが、その具体的な実施内容は、ポンプ等の各機器毎にその実績稼働時間を調査、分析し、その結果(情報)から人手により保守管理を行うものであった。

【0005】また、前記CIM化が推進されたシステムにおける予防保全については、一般には、前記付帯機器であるポンプや一般の回転機器においては、その部品等が劣化、破損した場合に発生する“音”や“振動”を計測し、その結果で異常の有無を判断する保全システムであった。

【0006】かかる従来法では、各付帯機器の測定や制御に直接関係するセンサ素子やモータ等の構成要素自体の変化(本発明においては、これを内的要因とする)に基づく情報を捉えることが前提であり、各付帯機器の出力等から内的要因を捉えることにより予防保全を行っているものであった。

【0007】ところで前述の付帯機器は内的要因以外に、付帯機器に接続される外部配管の破損や、配管内での流体物質の堆積、及び機器自身内の堆積物等の付帯機器の測定や制御に直接関係する構成要素の変化とは異なる要因(本発明においては、これを外的要因とする)によっても、その動作期間が左右される。一般には、機器の動作保証内で何らかの故障が発生している場合は、外的要因が支配的で有り、内的要因による故障の確率は低い。

【0008】例えば、半導体製造設備に用いられている排気ポンプ等は、常時種々の反応ガスを排気するので、ポンプ内部と外部配管にそれらの副産物が堆積する。この副産物の堆積の影響を除去するため、半導体製造設備では、比較的短時間でポンプの交換やメンテナンスを行っている。

【0009】又、一般産業用の回転機器(ポンプ、圧縮機、モータ)等では、定常負荷或いは変動負荷でもその動作を保証しているので、内的要因による劣化の兆候の検出が重要である。外的要因としては、適用する流体の腐蝕性や配管の洩れ等が考えられるが、これらの課題は施工段階にて対策処理(腐蝕性を要求される場合は、機器の構成材料、配管材料を腐蝕性の高い材料で構成する、等)が成され、それらの影響を低減している。

【0010】従って、予防保全システムとしては、前述の内的要因による劣化と外的要因による劣化を同時に検出し、これらの情報で機器の予防保全を実施する方法の確立が望まれている。

【0011】図2は、図1の監視されるべき機器の、その劣化要因を説明するための図である。

【0012】前記半導体製造ラインの各製造装置30、34では、シリコンウェハに成膜するためにチャンバー

へ成膜用のプロセスガスを投入し、所定の処理後はその残存ガスを配管41を介して前記チャンバーから排気ポンプ31、32により外部に排気させる構成となっている。この排気系では、プロセスガスの未反応な残留成分により、配管41及び排気ポンプの内部のロータに反応副生成物が付着する。この反応副生成物は、装置の稼働時間増加と共に成長し、排気ポンプの回転負荷が増加し、最終的に製造設備のプロセス処理中でも、排気ポンプが停止してしまう。したがって、製品の不良を発生するとともに、生産が混乱するという問題があった。

【0013】かかる現象は排気ポンプの性能・仕様上の問題では無く、上述の如く、残存ガスの反応副産物の成長による負荷の増加であり、外的要因により比較的単時間で付帯機器が劣化してしまう場合である。

【0014】一方、送風機33の場合は、その計画・導入段階で所定の設備能力と負荷量に合致した機種が選定され、かつその運転は連続定負荷運転のため、機器内部の部品の偶発故障や変形、破損、磨耗による内的要因の方が支配的である。

【0015】上述の何れの要因に係わらず付帯機器にストレスが作用すると、その作用が何らかの形で付帯機器に現れることは周知である。例えば、回転機器の構成部品の一部が、何らかの理由で損傷した場合、この現象は二次的に振動や高周波成分のアコースティックエミッション (Acoustic Emission) を発生する。

【0016】又、JIS B 0906に掲載されているように、“機械の表面で測定できる振動は機械内部の振動応力又は運動の状態の目安を示すものに過ぎない”という記載内容からも、付帯機械内部に何らかの変化が生じた場合に、その変化が二次的に振動に発生する事を示唆している。或いは、その他の物理量である熱、電流、電圧、音、光、電磁波等にも変化が現れる。

【0017】従って、上述のいずれの要因にかかわらず、付帯機器を効率良く有効に運転するためには、これらの物理量の変化現象を初期段階で的確に捉え、次にその劣化速度を予測し、所定の予防保全計画を実施するのが好ましい。

【0018】従来、前記これらの付帯機器の劣化診断・劣化速度や劣化の早期検出方法に関しては、特に内的要因が支配的であり、かつ多くのデータを蓄積した特定の付帯機器に関しては種々検討がなされ、一部実用化されている。しかし、上述の如く、外的要因が支配的である付帯機器や、新たに導入する付帯機器に関しては、付帯機器の実績データや機器の固体差や設置状況や環境変化の影響の関係が未知であるので、確度の高い劣化の兆候を捉えるための従来の手法や判定基準をそのまま適用できない。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】従来の予防保全システムにおいては、以下の3項目が課題である。

【0020】(1)：付帯機器が外的要因或いは内的要因により、異常、或いは劣化の兆候を示した場合に、その兆候を捉える方法、手段が無く、確度の高い判断と維持管理が出来なかった。

【0021】例えば半導体製造装置、特に、低圧・プラズマCVD装置に用いられている排気用の真空ポンプでは、装置稼働中は停止すること無く作動することが必要であるが、常時、成膜用のプロセスガスによる反応生成物がポンプ内部と排気配管に蓄積しており、蓄積量が増加するとその影響によりモータの最大負荷値を越え、結果として装置稼働中でもポンプが停止して、生産に多大の影響を与えてしまう。また、この劣化の状況を捕らえるための手法、システムが無いため、維持・保全管理もままならなかった。

【0022】更に、製造プロセスの規模が大きくなるに伴い装置台数も増加し、それに比例して排気ポンプ台数も増加することにより、それらの運用管理に益々手間を費やすこととなり、業務効率が低下していた。

【0023】(2)：劣化・異常診断の結果の質を向上出来なかった。

【0024】つまり、異常、或いは劣化の兆候に基づいた、対象機器のメンテナンスの時期等の情報を公開出来なかった。

【0025】効率的に、維持・管理計画を行うためには、劣化の兆候を把握し、故障時期やその原因を事前に掴むことが必要である。しかし、一般の回転機器の判定基準は、一部参考にできるが、上述の排気用の真空ポンプのように劣化の進行が外的要因による場合、或いはその兆候が顕著でない場合は、劣化初期の兆候を定量的に把握する新たな判定基準と手法が必要である。

【0026】また、劣化の傾向を継続して追跡するため、定期的なデータ収集と解析を効率的に行えるシステムが必要である。

【0027】更に、劣化判定基準の作成に当たっては、内的、外的要因に係わらず、劣化状態をより確度が高い手法で捕らえ、総合的な指標と判断手法を整備する必要がある。

【0028】(3)：(1)、(2)項を実現する経済性に富むシステムがなかった。

【0029】管理システムとしては、前記監視される付帯機器の補修・更新工事などの保全管理に役立てるシステムが必要である。また、劣化診断によって、劣化状態を総合的に診断し、その維持管理に有用なコメントを自動的に出力する機能等が必要である。

【0030】更に、上位の管理機器と密接に連結し、効率の良い監視と管理をリアルタイムに行えるシステムが必要である。従来のシステムでは、付帯機器の数値データの収集に留まり、このデータを基にした機器の劣化の兆候、傾向を加味した運転状態の把握や異常の有無の判定を実施できなかった。このため、巡視点検作業実施か

ら付帯機器の運転状態の確認までに暫くの時間差が生じ、不具合などの発見が遅れるため、的確な処置を迅速に行うことができなかった。

【0031】プロセス処理の複雑化による生産設備の複雑化のため、実際の生産設備のオンライン接続作業の立上げ工数の増加に伴い、生産設備に付加されるポンプ等の付帯機器もその接続作業の工数の増加が見られ、短期立上げ可能な柔軟なシステムが提供できなかった。

【0032】本発明は、上記の問題点に基づき、以下に示す目的を有するものである。

【0033】(1)：機器が外的要因或いは内的要因により、異常或いは劣化となる兆候を捉える方法・判断の精度を向上する。

【0034】(2)：劣化・異常診断の結果の質を向上する。例えば、(1)項で異常・劣化の判断を下した後、メンテナンスの時期の情報を公開する。

【0035】(3)：(1)、(2)項を実現する経済性に富むシステムを構成する。

【0036】

【課題を解決するための手段】(1) システムのハード構成

上記課題を達成するために、本システムでは前記監視される排気ポンプや一般の回転機器と前記上位の容易に操作可能なパソコン等の監視・管理機器(前記機器を管理する上位のコンピュータ)の間に、前記機器からの種々の観測データを収集し、かつ管理する変換器と、前記変換器に前記機器からの種々の稼働情報(観測データ)を収集する種々のセンサを接続し、また、前記変換器からのデータを集中管理する前記監視・管理機器を接続し、更に、前記監視・管理機器に他の管理機器を接続するC S S(クライアントサーバシステム)とし、前記監視・管理機器には、前記各センサ(機器)からのデータを加工して機器の運転と保全を支援するのに必要な劣化の兆候の発生時期やメンテナンスの時期の保全情報、メンテナンス情報、更には稼働情報等を計算する計算手段と、その結果を表示、グラフ化、統計処理して出力する表示手段と、前記機器の保全履歴や異常時のメモ等を前記監視・管理機器のデータ部に登録・組込むための入力手段から構成とした。

【0037】(2) システムの機能構成

(2-1) 機器に具備するセンサ機能

前記センサにおいて、第一には振動センサを用い、機器を破損することなく構成部材である軸受やケーシングの振動データを得る。振動データには、加速度、速度、変位の実効値データと、これらのデータから周波数解析した結果のデータ(周波数値、ピーク値)が得られる。

【0038】第二には、前述の振動データとは別に圧力或いは流量センサを用い、機器の出力である吐出圧力や、配管の流体抵抗を含めた圧力、流量等のデータを得る。

【0039】第三には、前述の振動データ、圧力、流量データとは別に温度センサを用い、機器を破損することなく構成部材である軸受やケーシングの表面温度データ(単点)或いはサーモグラフによる温度分布データを得る。

【0040】第四には、前述の振動データ、圧力データ、流量データ、温度データとは別に、電力計や絶縁計を用いて、機器の使用電力のデータや絶縁のデータを得る。

10 【0041】第五には、前述の振動データ、圧力データ、流量データ、温度データ、電力データとは別に、音響センサを用いて、機器を構成している部材の内部に亀裂等が発生し、進展する場合に発生する音響のデータを得る。

【0042】第六には、前述の振動データ、圧力データ、流量データ、温度データ、電力データ、音響データとは別に、機器の運転を規定している例えば、立ち上げ時間、稼働プロファイル時間等の間接的な管理データから、種々の機器管理用の時間データを得る。

【0043】第七には、前述の一から六の各種のデータとは別に、機器の運転や管理や保守等を規定している例えばグリースの交換頻度、オイルメンテ期間等の管理値から、種々の管理データを得る。

【0044】(2-2) システムの機能

(イ)：データベース機能

(2-1)項の各種センサからの観測されたデータと管理データは、変換器を介して前記管理機器に入力され、データベースとして保存する。また、別途入力される機器の保守履歴やアラーム等のデータも同様に保存する。

30 【0045】(ロ)：ガイダンス機能

前記機器の測定スケジュールや測定の項目やデータベースの登録等を管理する。測定スケジュールと測定の項目は前記変換器に転送され、前記各種センサの情報は計画的に収集される。

【0046】(ハ)：劣化診断機能・傾向管理機能

劣化診断機能は、前記データベースに保存されている前記(2-1)の各種のセンサからの情報を基に、該当機器の劣化状態を診断或いは判断する機能であり、正常稼働時の各種のセンサからの情報で“正常稼働時の基準空間”を作成し、以後は“正常稼働時の基準空間値”と各種のセンサの値から計算される空間値を逐次比較する方式とした。

【0047】以下、その方式の詳細フロー示す。

【0048】A：機器の正常時の固有の空間を作成するデータを収集。

【0049】各種センサからの観測データをデータベースから収集する。データ数は、少なくとも前記機器に取り付けたセンサの数以上であるが、その2から3倍数以上のデータが望ましい。

50 【0050】B：機器の正常時の固有の空間を作成する

データに加工。

【0051】A項のデータを各要素毎（センサ毎）に、その平均値と標準偏差で正規化する。

【0052】C：機器の正常時の固有の空間を作成。

【0053】B項のデータから機器の“正常稼働時の基準空間”の統計量 $D^2$ （マハラノビスの距離）を求める。マハラノビスの距離は、前記各要素の数のみで決定される2次元行列であり、使用されたデータの数に対応して、その距離が計算される。その平均値は“約1”で、その標準偏差は $\sigma$ である。

【0054】更に、上記計算後、各種センサで観測される期待値以外の値（統計では $3\sigma$ 以上）を設定し、統計量 $D^2_{i,n}$ （マハラノビスの距離）を求める。この値を前記“正常稼働時の基準空間”からの“最低隔離距離”とし、劣化の兆候の始点とする。

【0055】D：観測データの読み取りと監視  
各種センサからの観測データを、前記管理機器のガイダンス機能により、計画的にデータ収集する。

【0056】収集されたデータを前述のA、B項と同様な方法でデータ加工を行い、収集されたデータの $D^2_{i,n}$ （マハラノビスの距離）を計算する。

【0057】この値 $D^2_{i,n}$ と前記C項で得られた“正常稼働時の基準空間”の統計量 $D^2_{i,n}$ （マハラノビスの距離）とを比較し、この値にて機器をリアルタイムで監視する。

【0058】E：診断・推定

上記D項の比較結果が“正常稼働時の基準空間”以内、即ち“最低隔離距離”以下である場合は、D項を継続して監視を継続する。この時、前記管理機器の表示部には、その結果を提示する。また、前記ガイダンス機能により、定期的にその結果を帳票として出力する。

【0059】一方、上記D項の比較結果が“正常稼働時の基準空間”以外即ち“最低隔離距離”以上である場合は、まず第一に、再度次の観測データを前記ガイダンス指標とは別のサイクルで比較的単時間で収集しその結果、増加傾向であれば、機器が“劣化の兆候”或いは“注意”であるという判断を行い、その時の時間（ $T_s$ ）を設定する。

【0060】次に、継続的にD項により観測データを収集し続け、逐次収集されたデータの $D^2_{i,n}$ （マハラノビスの距離）を計算する。この計算された $D^2_{i,n}$ の値は、前述の“正常稼働時の基準空間”以外即ち“最低隔離距離”以上であり、所定の増加率で上昇して行く。それが、今後どの様に進行し、いつ予防保全の管理外に至るかを推測することは機器の管理上非常に重要である。また、この進行状況は監視される機器によって異なる。

【0061】このため、本システムでは、この進行状況を表現できるトレンド関数として、一般的な線形関数と指数関数と、この進行現象のトレンドの最終端の傾向は飽和現象になるものと仮定し、更に一般的な故障の確率

密度関数の傾向現象値がロジスティックな関数であることから、その終端で飽和の傾向を呈する成長形関数と、それらの関数に該当しない特殊の関数を適用する。

【0062】これらの関数の係数は、逐次収集されたデータの $D^2_{i,n}$ の計算値から最小自乗法で決定される。

【0063】次に、これらの関数値と実測値が比較され、残差の最も少ない最適の関数が適用される。

【0064】前記機器の最終的な管理値は、実績がある場合（メンテ期間）にはその実績時間を管理値として使用し、或いはその値から計算される $D^2$ の値を使用することができる。

【0065】次に、この管理限界値までの時間が前述の適合関数から計算され、前述の時刻 $T_s$ と現時刻と前述の最終的な管理値までの計算時刻から、保全時間を計算し、予測する。

【0066】この予測は、新たにデータが収集される度に、そのデータを付加して再度計算し、より最適な関数が設定される。

【0067】F：警告・表示

前述のD項の結果は、機器の管理者に機器毎に、その内容が表示（報告）され、データベースに蓄積される。この内容で管理者は、保全、メンテ計画を確認あるいは再考する。

【0068】また、上記に並行して機器毎に前記種々のデータ（加工しない生のデータ）を基に、各々に定めた管理上の警報値と、これらの各警報値に優先順位や組合せを定義し、この優先順位や組合せを満たす場合は機器の劣化或いは異常と判定し、警告信号を出力・開示する。

【0069】（3）総合管理方式

上述の手法により、機器の信頼性を定量的に分析・判断・評価することが可能となったが、プラント全体の機器の総合管理面からは、機器の故障率データを一括管理した方が管理者にとってはより好都合である。また、機器の信頼性業務の内容をより有意義なものにするため、より統計解析的意味付けを実現した方が得策である。

【0070】本システムでは、前述の如く、各機器に対してその稼働時間や劣化要因や部品交換等の情報が実績データとして、前記管理機器のデータベースに蓄積されていく。従って、これらの情報を再度、以下に示す統計的解析手法により、機器を管理する方式としている。

【0071】即ち、寿命 $t$ の確率密度関数が $f(t)$ 、分布関数が $F(t)$ 、信頼度関数が $R(t)$ であるような $n$ 台の機器、例えば半導体設備用の排気ポンプ等、をデータ整理の対象とすれば、それぞれの寿命や稼働期間が前記データベースから容易に、 $t_1, t_2, \dots$ が得られる。この $t_1, t_2, \dots$ はサンプルの実現値であり、かつ観測のたびごとに所定の分布法則に従って相違した実現値をもたらす確率変数でもある。かかる仮定の場合には、統計的手法により、該当機器の不信頼度



関数や平均寿命を求めることができる。

【0072】前記不信頼度関数や平均寿命を求める手法としては、本システムではワイブル分布と指数分布を適用し、それらの係数を数値計算より求める方式としている。本システムでは上述の欠点を顧みて、劣化の兆候と進行状況を的確に捉えるため、二次的に発生する種々の物理量の変化を捉える手段を備え、これらの二次的に発生する各物理量により、付帯機器毎に“正常稼働或いは劣化現象がない”という、正常動作を行う範囲（以下、基準空間という）を予め作りこみ、劣化現象が発生した場合に、連続的な自動処理にて、前述の基準空間と比較・判断・診断とを行うシステムとしている。この基準空間は、前述の如く、多次元の各種の二次的物理量により構成され、もし付帯機器が修理された場合でも、その修理された時期の付帯機器の状態を基準空間として、継続的に運用される。前記基準空間との比較・検出・判断の方法は後述するように、確度の高い統計的な手法で達成している。

【0073】本発明の予防保全システムによれば、

(1)：機器が外的要因或いは内的要因により異常、或いは劣化の兆候を示した場合に、その兆候を前記機器に取り付けられた種々のセンサからの情報により、前記機器の多次元の固有モード（基準空間）を決定でき、この当初の固有モードと連続的に観測されるデータから形成される $D^2$ 距離（マハラノビスの空間距離）とが連続的に監視されるので、前記機器の異常、或いは劣化の兆候を確実に捕らえることができる。

【0074】この手法は、従来の単一のセンサから情報を基に機器の異常、或いは劣化の兆候を捕らえる方法に比して、機器の異常、或いは劣化の兆候の原因或いは要因を含んで構成される空間を使用し、更には前記各要因間の交互作用を含めてあるので、より総合的で確実性が高い。また、この基準空間は、センサの計測精度や周囲の温度等の変動等をも加味して形成されるので、季節やセンサの器差に無関係であり汎用性に富む。

【0075】(2)：本システムでは、図13に示す処理手法・手順により機器の劣化・異常診断の質を向上と予測を可能としたので、より確度の高い診断・判定と予防保全を実現した。

【0076】①：機器から正常時の固有の空間を作成するデータを収集する。但し、監視を開始する場合、或いは保全を実施し、運転を再開する場合のみ。

【0077】②：機器の正常時の固有の空間を作成するデータに加工。

【0078】③：正常時或いは再運転時の基準空間を作成。

【0079】④：観測データの読込と監視。

【0080】収集されたデータのマハラノビスの距離を計算してその値を基準空間の値と比較する。また、各パラメータの個別値を監視する。

【0081】⑤：診断・推定

上記比較結果が“正常稼働時の基準空間”以内即ち“最低隔離距離”以下である場合は、継続して監視を継続する。一方、上記比較結果が“正常稼働時の基準空間”以外即ち“最低隔離距離”以上である場合は、まず第一に機器が“劣化の兆候”或いは“注意”であるという判断を行う。次に、進行状況を表現できるトレンド関数として、線形関数と指数関数や成長関数あるいは特殊な関数の何れかを適用し、その進行状況の最良値を見いだす。

【0082】次に、この管理限界値までの時間が前述の関数から計算され、前述の開始時刻と現時刻と前述の最終的な管理値までの計算時刻から、保全時間を計算し、予測する。

【0083】この予測曲線は、新たにデータが収集される度に、そのデータを付加して再度計算され、より最適でかつ精度の高い関数が設定されるので、計算時間の確度が向上する。

【0084】⑥：総合機器管理（寿命）予測

本システムでは、寿命 $t$ の確率密度関数が $f(t)$ 、分布関数が $F(t)$ 、信頼度関数が $R(t)$ であるような $n$ 台の機器とすれば、それぞれの寿命や稼働期間が所定の分布法則に従って相違した実現値をもたらし確率変数でもあるので、統計的手法により、該当機器の不信頼度関数や平均寿命をワイブル分布と指数分布を適用して求めることができるので、機器の器差やメーカー別の仕様の相違を網羅した総合管理ができ、計画的な予防保全の指標になる。

【0085】(3)：管理システムとしては、補修・更新工事などの保全管理に役立てるシステムが必要であった。また、劣化診断によって、劣化状態を経合的に診断し、維持管理に有用なコメントを自動的に出力する機能等が必要であった。

【0086】更に、場合によっては、他の上位の管理機器と密接に連結し、効率の良い監視と管理をリアルタイムに行えるシステムが必要であった。

【0087】従来のシステムでは機器の数値データの収集にとどまり、このデータを基にした機器の劣化の兆候、傾向を加味した運転状態の把握や異常の有無の判定を実施できていなかったが、本システムによれば、上述の方法により、確度の高い診断・予測が達成出来、その結果を管理機器の表示部に逐次、リアルタイムにて開示するため、よりの確かな判断と処置を迅速に行うことができ、生産を混乱することがなくなった。

【0088】また、前記管理機器では各機器の処理実績を一元化して管理できるので、効率の良い計画予防保全の維持管理ができる。

【0089】また、前記管理機器からのデータは製造設備の運転を支援するのに必要な稼働情報を別のシステムにも開示できるので、前記製造設備の動態や稼働情報として一元化ができ、生産管理業務の効率向上が達成でき

る。

【0090】また、機器の管理者及び作業者は、前記管理機器に接続された別の管理機器にて、機器の稼働情報や予防保全時期を的確に把握することができるので、人為的判断ミスが減少し、生産管理と設備管理の業務効率が益々向上するとともに、省力化が達成できる。

【0091】また、本システムでは前記管理機器と変換器及び他の管理機器が、ネットワークにてオンライン化されているので、収集したデータとその計算・診断結果を各端末にて、確認できると共に、その結果をも編集・整理することが可能であるため、データの活用効率向上する。

【0092】更に、プロセス処理の複雑化による生産設備の複雑化のため、実際の生産設備のオンライン接続作業の立上げ工数の増加に伴い、生産設備に付加されるポンプ等の付帯機器もその接続作業の工数の増加が見られ、短期立上げ可能な柔軟なシステムが提供できなかったが、本システムでは、前記管理機器に所定の書式にて管理する機器の登録を行い、前記ガイダンス機能にて測定条件を設定し、変換器に所定のセンサを接続するだけで、監視・診断を実現できるので、立上作業工数等の間接費用を削減できる。又、前記管理機器と変換器のオペレーティングシステムは、汎用の市販されている標準機能とPC等のより安価なハード構成でも動作可能なため、特殊な機器を具備させる必要が無く、安価なシステムとして構成できる。

【0093】上述したように、本発明によれば、機器の予防保全を実施するに当たり、機器の時間管理計画保全と状態監視保全を達成でき、かつ人手の介入がなくなるため、機器の管理業務の効率が向上と省力化を達成できる。

【0094】

【発明の実施の形態】以下、本発明の機器の予防保全システムについて図を用いて説明する。

【0095】図1は本発明の機器の予防保全システムの一実施例を示すシステム構成図である。

【0096】図1においては、半導体製造ラインの製造装置30或いは製造装置34に具備される付帯機器の管理を行うシステムを示す。本システムのハード構成としては、管理機器(1)1、他の管理機器(2)2、前記管理機器(1)のデータベース101、監視対象となる付帯機器として排気ポンプ31、32、送風機33、そして監視対象の各付帯機器に取り付けられる各種のセンサ51～57、各種センサからの信号を取り入れ規定の信号に変換する変換器20、変換器21、変換器22、から構成され、前記各種のセンサは前記変換器20、21、23とRS232CやRS485等のセンサ信号ケーブル202にて接続され、これらの変換器は、前記管理機器(1)1と通信ケーブル201を介して接続され、更に前記管理機器(1)1は、他の管理機器(2)

2とLAN13を介して接続されている。

【0097】図1に示す51～57は前述の物理量の状態変化を常時、的確に捉えるために、前記付帯機器に取り付けられるセンサ群である。

【0098】本実施例では、排気ポンプ31のケーシング部には軸方向と径方向にそれぞれ振動センサ51を、さらに温度センサ52を取り付け、また配管41に圧力或いは流量を測定するセンサ53を取り付けた構成としている。一方、排気ポンプ32のケーシング部には、軸方向と径方向にそれぞれ振動センサ54を取り付け、更に排気ポンプの運転制御を実施する制御ボックス55内の信号、例えば圧力、流量、温度、電力量等を直接変換機21へ取り込む構成としている。更に、送風機33のケーシング部には軸方向と径方向にそれぞれ振動センサ56を取り付け、更に温度センサ57とその軸に音響或いはアコースティックエミッションを測定するセンサ58を取り付ける構成としている。

【0099】いずれの構成においても、付帯機器の状態を多次元で捉える構成で有り、かかるセンサからの出力値は前記変換器20、21、23にケーブル202を介して、所定の間隔で伝送される。又、前記センサ群の収集間隔や日時等の測定条件は、前記管理機器にガイダンス機能を備え、これにより随時設定や変更が可能である。

【0100】前記変換器の主たる機能は、前記各センサ群の信号を所定の正規化した電気信号に変換する機能と、その正規化した信号を前記管理機器に伝送する機能と、振動センサの出力の場合にはその入力波形から周波数分析し、かつ振幅スペクトラムデータを求める解析機能や、他のセンサの場合にはそのピーク値や平均値、実効値を求めるデータの前処理加工機能を有している。

【0101】図3、図4は前記センサ群からの機器の状態変化の情報のデータのフローとその書式例を詳細に示した図である。

【0102】前記排気ポンプ31、32や送風機33の各付帯機器の状態量は、センサ群から変換器群を介して管理機器(1)1内のワークファイル上に転送され、付帯機器単位で“固有モード決定パラメータ”のデータとして、例えば図4(1)に示すフォーマット60の如く、時系列的に収集・編集される。

【0103】次に編集が完了した時点で、管理機器(1)1のデータベース101内に、例えば図4(2)に示すフォーマット61で格納される。これらのフォーマット60、61に格納されたデータは、管理機器(1)1に具備された計算手段10aによって、その最大値や最小値や瞬時値、或いは平均値や標準偏差や度数分布の表示形式に加工して、表示手段10bに表示される。このため、前記付帯機器群の状態変化を管理者に逐次報告できる。又、場合によっては管理機器(1)1の入力手段により、前記データベース101に随時アクセ

することが出来るので、必要な時に、必要な情報を抽出して、編集・整理することが可能である。

【0104】図4は、管理機器(1)1のワークファイル内のフォーマット60とデータベース101内のフォーマット61を示したものであり、いずれも前記付帯機器の“固有モード決定パラメータ”の情報データの構成例であって、二次元の“表”の形式をとっている。

【0105】前記各付帯機器の“固有モード決定パラメータ”の状態変数において、各付帯機器毎にデータの収集時間毎に“行”として登録し、この“行”を各付帯機器と状態変数毎に並べてデータベースとして構成される。前記“行”情報は、“日時・時刻”、“機器名称”等の共通部データと、前記付帯機器の状態変数の処理実績データ部と、前記各付帯機器の状態変数の管理値や、付帯機器の異常来歴を記入する“一口メモ”や、保守の来歴を文書化して保存する場合に取られる“保守ID”とからなる保守データ部からなり、各々の内容が前記“行”における“列”に対応して登録されている。

【0106】以上述べたように、構成されているデータベース101は、前記付帯機器である排気ポンプ31、32、送風機33の自動監視の立ち上げ時、即ち、本システムの前記付帯機器の監視開始に先立って、予め前記管理機器のデータベース101に設定されているものである。尚、前記フォーマット60、61においては、前述の共通部データ部と処理実績データ部は共通である(フォーマット60の図示を一部省略)。

【0107】前記管理機器(1)1の表示手段10bは、前記データベース101から実績項目情報、即ち、“行”を順次読み出し、各フィールド毎に必要な情報を分配し表示する。

【0108】前記各“行”の情報の内、“日時・時刻”、“機器名称”と“処理実績項目”は、前記表示手段10bに出力して表示されると共に、計算手段10aによって、そのデータを加工して前記表示手段10bにてその結果を表示する。付帯機器の管理者或いは作業員は、始業前点検や日常点検作業の開始前に、前記の表示手段10bに表示された付帯機器の情報に従って作業を実施し、また前回の監視結果と今回の監視結果の内容とを同時に入手可能である。

【0109】又、付帯機器の管理者或いは作業員は、前記の表示手段10bに表示された情報に従って管理業務作業や保守計画の作業を実施し、何等かの作業コメントを残したい場合には、前記管理機器1の入力手段10cを介して、前記フォーマット61の保守データ部に機器の状態を入力し、その情報を保持、蓄積することとできる。

【0110】入力手段10cは、入力された情報を前記“列”に割り付けて1“行”のデータを前記データベース101に入力する。前記管理機器(1)1のデータベース101は、前述のように、二次元の“表”の形式を

取っており、前記入力手段10cから入力された1“列”のデータを追加登録し、データベースを更新する。

【0111】本システムでは、以上述べた一連の動作を1回のサイクルとし、前記データベース101に予め設定された項目情報である“行”の順序に従って、最後の“行”まで、各構成機器のイベントが発生する度に、前記フォーマット60から61への変換が順次繰り返され、構築されて行く。

【0112】上記実施例によれば、処理データの換算処理等を必要とする管理項目には、予め、そのための計算式等を前記計算手段10aに設定しておくことで、イベントが発生する度に、採取した付帯機器の状態変数のデータから付帯機器の管理指標や予防保全に関するデータを作成でき、その結果を開示し、知らしめることができる。

【0113】図5(1)は本システムにおける各付帯機器の多次元の状態変数(“固有モード決定パラメータ”)から、該当付帯機器の状態を決定する“基準空間”の作成手法を示した図である。

【0114】ステップ501:付帯機器群から収集された加速度、温度、変位、電力等のデータから、付帯機器毎に前記フォーマット60の書式で編集する。これらのデータは前述の如く、二次元の表で有り、その“列”は、各付帯機器に対応して監視すべき状態変数の数(n個)を割り当て、その“行”は、収集するサンプル数(p個)である。この二次元の表を $X(i=p, j=n)$ のマトリックスとする。

【0115】この $X(i, j)$ の条件としては、

(1):  $p \geq n$ であり、pはnの2~3倍数以上のデータ数が好ましい。

【0116】(2): n個のセンサ群の取付位置は、周囲温度の影響が少ない位置が望ましい。もし周囲温度の影響でそのデータが変動する可能性がある位置にしか取り付けられない場合には、その該当する変動分を付加したデータに加工する。これは劣化現象が長期に渡った場合の季節変化や、センサの設置位置の影響を加味した作成法で有り、より基準空間の作成の確度を向上するためである。

【0117】ステップ502:  $X(i, j)$ を統計手法にて変換・正規化し、そのマトリックスを $X'(i, j)$ とする。

【0118】 $X'(i, j) = (X(i, j) - \mu_j) / \sigma_j$   
ここで、 $\mu_j$ はパラメータ毎のp個の平均値  
 $\sigma_j$ はパラメータ毎のp個の標準偏差

ステップ503:  $D^2$ (マハラノビスの距離)の算出

(1):  $X'(i, j)$ から各パラメータ間の相関行列 $R(s, t)$ を算出する。この段階で、行列はパラメータの数だけの $n \times n$ の正方行列(相関行列)となる。

【0119】

【数1】

$$R(s, t) = \frac{1}{p} * \sum_{i=1}^p X'(s, t) * X'(j, i) \quad \dots \text{【数1】}$$

【0120】(2):  $X'(i, j)$ の転置行列 $X''(i, j)$ と $R(s, t)$ の逆行列 $R^{(-1)}$ から $D^1$ を算出する。この段階で、前記収集されたデータ毎(行毎)に $p$ 個( $p=i$ )の $D^1$ の値が計算される。

【0121】

$D^1_i = X''(i, j) * R^{(-1)} * X'(i, j) / j$  10  
ステップ504: 前記 $p$ 個の $D^1_i$ の値が付帯機器の固有の状態を表現する基準空間となる。

【0122】この基準空間は、図6に示す様に、その平均が1で標準偏差 $\sigma$ の正規分布となる。前記基準空間を作成したパラメータの何れか、或いは相互作用でいくつかのパラメータに変化が生じた場合、例えば、図1における排気ポンプ31に取り付けられた振動センサ51からのデータにおいて、その第一のピーク周波数成分が前記基準空間作成時の値よりも20ヘルツ変動した場合、前記 $D^1_i$ の度数分布(空間)は図6に示す破線形状に移行する。即ち、前記基準空間から、その距離が徐々に離れて(増加して)行くので、排気ポンプ31は正常動作時に作成した基準空間とは異なった状態に変遷したものと判断できる。

【0123】従って、付帯機器を新規に導入して予防保全計画を実現する場合や、本システムを新たに導入して予防保全計画を実施する場合、或いは付帯機器のオーバーホール後や修理後に引き続き監視と予防保全を継続して実施する場合でも、再度本手法にて、その時点での基準空間を作成し直して、この再作成時の基準空間を基準 30としてシステムを継続的に動作させることができる。又、従来の単一の警報値による管理法や、各パラメータの組合せによる警報の順位判定法に比べて、より総合的に機器の状態変化を捉えることが出来るので、また統計処理を容易に実現出来るので、信頼性が高いと共に汎用性に優れる。更に、前述の如く前記計算手段10aと表示手段10cにより、各パラメータの瞬時値や平均値、最大値、最小値や度数分布状態等の加工データも容易に開示できる。

【0124】以上、本発明による基準空間法による付帯機器の状態変数の監視によれば、管理者は改めて、管理する付帯機器の設定値や警報値等のデータベースを作成 40或いは更新する必要がないので、管理の業務効率が向上する。

【0125】図5(2)は、前述の基準空間の作成後の処理フローを示した図である。

【0126】前記基準空間作成後の処理フローは、基本的に監視される付帯機器からの各状態変数値(フォーマット60の行単位)で構成される $D^2$ 値(ある時刻の付帯機器の状態空間値)と、前記基準空間の値との離隔距 50

離を計算し、連続して、その値で付帯機器の劣化兆候、或いは異常の兆候を診断、或いは判断し、その時刻を決定する。

【0127】次に、前記劣化兆候或いは異常の兆候診断後も継続して付帯機器からの各状態変数値(フォーマット60の行単位)で構成される $D^2$ 値を計算し、その速度(トレンド)データを積み上げて行き、後述する手法にて、その進行曲線を最適所定の関数で適合し、その速度を予測(運転可能最終時刻)する。

【0128】図7は前述の処理フローを詳細に示した図であり、 $D^2_i$ の値が判断基準値である $D^2_{i, n1}$ 以上でなく、かつ増加傾向でない場合は、その状態を表示する監視モードを連続して繰り返し、そうでない場合は劣化或いは異常の発生と診断し、その時の時刻( $T_s$ )を確定する。ここで、前述の判定基準値 $D^2_{i, n1}$ は、前述の基準空間作成時に同時に作成してある数値である。即ち、前述の如く、図5に示す様に、この基準空間は付帯機器の正常動作時の状態で有り、その平均値が“≒1”で、かつ各パラメータの変動を含んだ標準偏差 $\sigma$ の空間である。従って、計算された $D^2_i$ の計算値が“ $1 + 3 * \sigma$ ”以内であれば、危険率0.3%で付帯機器の状態に変化無しと判断され、一方、“ $1 + 3 * \sigma$ ”以上であれば、危険率0.3%で付帯機器の状態に変化有り、或いは付帯機器に劣化・異常の兆候有りと判断する。本システムでは、 $D^2_{i, n1}$ の値を基準空間の標準偏差 $\sigma$ より3 $\sigma$ から3.5 $\sigma$ の範囲としている。

【0129】次に付帯機器の発生時刻を診断し、 $T_s$ を確定した後は、その進展速度を予測するため、 $D^2_{i, n1}$ 値或いは実績稼働時間( $T_e$ )に至るまで前記付帯機器の状態変化の進行を監視しながら、後述する手法にて、その進行曲線を最適所定の関数で適合し、その時刻における速度を予測(運転可能最終時刻)し続ける。かかる手法は、最適な曲線を確度良く適合させるためにデータ数が多い方が良いという理由と、付帯機器毎に確定した速度進行曲線が無いという理由である。図中、 $D^2_{i, n1}$ の値は、前記 $D^2_{i, n1}$ と同様に基準空間の作成時に前記パラメータから計算されるが、この値は本システムでは、下記の如く設定した値の最小値を設定する。

【0130】(1): 前記基準空間の作成時の付帯機器の状態変数を用いる方法。

【0131】前記状態変数の値には、付帯機器の運転仕様により、付帯機器を必然的に停止しなければならないパラメータの値(例えば、最大許容圧力値、最高許容表面温度、最大許容流量、最高許容電力、最大許容加速度、回転数等)、即ち付帯機器の最大正常動作条件が有るので、これらの値を用いて $D^2_{i, n1}$ の空間を作り、その

下限値の値（平均 $-3\sigma$ ）を採用する。この時、各パラメータ間の交互作用とその主要因が不明であるため、最悪でも、全てのパラメータの組合せを計算して、周知の統計処理にて、その空間の指標を求める。前記管理機器の計算能力は非常に高いので、その計算時間は問題にならない。又、別の計算機にて、別途計算し計算後の値を入力しても良い。

【0132】（2）：各付帯機器に対して稼働実績時間のデータが蓄積されている場合は、前記適合した進度曲線に $T_e$ を代入して、 $D^1_{...}$ の値を計算する。この値は、前記適合曲線が逐次更新されるので、それに対応してその値も変化する。

【0133】前記“ $D^1_i$ ”の値或いは“ $T(i)-T_s$ ”の値が“ $D^1_{...}$ ”の値或いは“ $T_e$ ”の値以下ならば、継続してその劣化傾向や速度を監視し続ける。一方、それらの値が近接傾向にある場合は、“付帯機器の保全、メンテナンスの必要時期である（予防時期）”の警告を出し、管理者或いは作業者に保安全管理の徹底を促す。最終的な段階では、或いは管理者が強制的に停止しない場合には、前記指標に所定の安全率を考慮して、追跡シーケンスを止め、“保全要求”を出して開示すると共に、他のシステムにもその情報を開示する。

【0134】かかる段階で付帯機器の保全の情報が開示され、該当付帯機器は修理、メンテナンスが実施され、また管理機器（1）1の入力手段10cにより、フォーマット60にその内容を残し、データベース101に保存する。更に、図8に示すフォーマット62形式で、当該付帯機器毎にその稼働実績や保守内容等が蓄積されて行く。

【0135】修理・メンテが終了した時点で、再度基準空間を作成し、前述のシーケンスに戻り、監視と診断と劣化速度の予測を行う。

【0136】図8は、前記データベース101内のフォーマット62を示したものであり、いずれも付帯機器の“付帯機器の保全実績”の情報データの構成例であって、二次元の“表”の形式をとっている。

【0137】各付帯機器の“付帯機器の保全実績”の実績データにおいて、各付帯機器毎に“行”として登録し、この“行”を各付帯機器毎に並べてデータベースとして構成される。前記“行”情報は、“付帯機器名称”、“プラント名称”、付帯機器が設置された“プロセス名や用途”等の共通管理データ部と、付帯機器の“メンテ時期”や“実績稼働時間 $T_e$ ”や保守・メンテに要した“修理費用”や“寿命、MTTF値”等の保守・保全を実施した付帯機器個別前実績データ部とからなり、各々の内容が“表”における“列”に対応して登録されている。

【0138】以上述べたように構成されている情報データベースは、付帯機器である排気ポンプ31、32、送風機33の自動監視の立ち上げ時、即ち、本システムの

付帯機器の監視開始に先立って、予め管理機器（1）のデータベース101に設定されているものである。

【0139】管理機器（1）1の表示手段10bは、前記データベース101から実績項目情報、即ち、“行”を順次読み出し、各フィールド毎に必要な情報を分配し表示する。

【0140】前記各“行”の情報は、表示手段10bに出力して表示されると共に、計算手段10aによって、そのデータを加工して表示手段10bにてその結果を表示する。付帯機器の管理者或いは作業員は始業前点検や日常点検作業の開始前に、表示手段10bに表示された付帯機器の情報により、プラントに設置される付帯機器全体の総括的な保全計画を実施することが可能である。

【0141】また、管理機器（1）1のデータベース101のハードウェア資源には限りがあるので、逐次別の媒体に移設して管理することが可能なため、ある期間保存された後は保存設定数を越えたものより、自動的にバックアップをとるといった運用もできる。

【0142】図9に、前記 $D^1_i$ の時系列データとその速度予測曲線を示す。

【0143】前述の如く、図7に示すフローに従えば、付帯機器の劣化の発生時期を確度良く判断・診断が可能となった。又、その最大許容値 $D^1_{...}$ や実績稼働時間 $T_e$ も高確度で予測可能となった。従って、今後 $D^1_i$ がどのように進展し、いつ管理基準外に至るかを高確度で予測することは、付帯機器の予防保全上、極めて重要である。

【0144】一般には、前述の実績のデータをベースにした $T_e$ 値は、付帯機器の器差、設置環境、外部の配管等の組込みや接続の仕方が相違するため、適用し難い。このため、 $D^1_{...}$ と実際の観測データを基に計算された $D^1_i$ から、確度の高い適合曲線を予測し、劣化速度を予測し、最終 $T_e$ を求める方法が適用される。又、付帯機器が新機種の場合は当然の如く、実績稼働時間 $T_e$ がデータベース101に無いので、適合曲線を予測して決定する必要がある。

【0145】かかる状況により、本システムでは前述の適合曲線を求める手法に主体を置き、実績稼働時間 $T_e$ は、同付帯機器の $n$ 回の保守・メンテナンスを行い、実績を収集して、ある付帯機器のみに適用するようにしている。従来、この種の適合曲線としては、

①：直線近似形（ $y = \alpha * t$ ）

②：指数近似形（ $y = \exp(\alpha * t)$ ）

③：指数形の変形形（ $y = \exp(\alpha * t + \beta) * t$ 、（ $y = \exp((\alpha * t) * \exp(\beta * t))$ ）

等が有り、各パラメータ毎に適合曲線を求め、活用されていた。

【0146】しかし、付帯機器がいくつかの劣化或いは異常のパターンに至った場合には、同じ機種でも、上記の適合曲線以外にも種々の適合曲線が発生するので、確

度の高い適合曲線が得られておらず、又、前記各パラメータの変化を総合的な観点から捉えることができていなかった。

【0147】本システムでは、前述の様に付帯機器の状態変数の数に無関係に、 $D^2_i$ の指標値のみで、付帯機器の状態変化或いはその動作状況モードを表現でき、且つその傾向を前述の適合曲線にて近似するので、付帯機器の状態変化をより正確に推定できる。

【0148】図9はその $D^2_i$ の値と各パラメータを時系列に示した図である。

【0149】図に示す様に、監視の初期状態( $T_0$ 時)においては、 $D^2_i$ は前記基準空間内にある。継続して前記図7の処理フローに従い、監視を継続していくと、 $T_s$ 時に、 $D^2_i$ の値が管理値である $D^2_{i,nt}$ 以上となり、また $T_s+1$ 時には増加の傾向でもあった。従って、この $T_s$ 時を付帯機器の劣化或いは異常或いは故障の始点と診断できる。

【0150】さらに、監視を継続して、 $D^2_i$ の値を計算していくと、徐々に $D^2_i$ は増加の傾向であった。即ち、付帯機器の正常動作時の基準空間から、徐々に付帯機器の状態が何等かの理由(配管や付帯機器内の副生産物が増加・蓄積されるという原因から生じる、負荷が増加中、部品の劣化が進行中、部品が故障・磨耗中等)で、もはや正常な動作ではなく、その状態がある速度で進展していることを意味している。この値は最終的に、付帯機器を停止しなければ機器自身が破損して使用出来なくなる状態変数値(換言すれば、前記付帯機器の運転の圧力トリップ値や付帯機器の許容最高表面温度値)から計算される $D^2_{max}$ まで進行し続ける。この $D^2_{max}$ は付帯機器によって相違するので、前述の基準空間作成時に付帯機器毎に決定する。

【0151】次に、 $D^2_i$ と $D^2_{max}$ より、その進展速度を予測( $T_e$ 、 $T_zx$ )する手法について説明する。図9から、適合曲線の始点は $T_s$ 時の値であり、これは前述の如く、

$$1 + (3 \sim 3.5) * \sigma$$

であり、 $T_s$ 以降は、監視・計算された $D^2_i$ の実績データ値であり、時間の経過と共に、データが蓄積される。

【0152】その終端は、 $D^2_{max}$ である。

【0153】かかるデータから最適な適合曲線を予測する。

【0154】以下これらのデータより、前記機器の劣化速度の予測手法を詳細に説明する。機器や部品等の寿命推定は、一般には、寿命試験に基づくデータとフィールドデータに分けられ、様々な試験方式が提案されている。一般的には、同一の試験片を同時に試験機にかけ、ある一定時間で試験を打ち切り、その残存数から寿命を

推定する場合と、初めから $n$ 個の故障が発生した場合にその試験を打ち切り、その時間から寿命を推定する手法とがある。

【0155】しかし、その試験は一般に試験・実験室で実施されるため、実際に機器・部品が使用される環境とは相違するので、実データの再現性に欠ける。或いはそのデータ数には限りがあるので信頼性も劣る。

【0156】従って、機器・部品の使用されるフィールドでのデータは非常に重要であるが、そのデータには、故障のデータや無故障のデータが混在し、その故障の種類も千差万別で有るので、統計手法を用いたランダムなデータの取扱いを実施しなければならない。

【0157】かかる統計手法としては、試験データ或いはフィールドデータから、その寿命を予測する場合に適用される分布は、主にワイブル分布と指数分布で有り、今日まで種々のデータが積み上げられ、これらの分布に従うことが実証されている。更にワイブル分布は付帯機器の“最弱リンクモデル”として導入され、機械・部品等の寿命データはワイブル分布に従っていることが確認されており、広く活用されているので、本システムでも前記付帯機器の状態変化をワイブル分布で表現する。ワイブル分布は次式で表わされる。

【0158】

$$F(t) = 1 - \exp(-(t - \gamma)/\eta)^m)$$

ここで、 $m$ は形状パラメータ(確率密度関数が変わる)、 $\eta$ は尺度パラメータ、 $\gamma$ は位置パラメータと呼ばれ、その分布を決定するパラメータであり、 $t$ は時間である。上式より $t = \eta$ の時、その信頼度は0.37である。時刻 $t$ における故障率 $\lambda(t)$ は、

$$\lambda(t) = (m/\eta) * (t/\eta)^{m-1}$$

で有り、 $m$ の値に応じて、その故障形が分類されている。

【0159】 $F(t)$ は各データに対して、(小さい方からの故障順位)/(総データ数+1)

で推定されるか、或いは累積ハザード： $H(t)$ を用いて、

$$F(t) = 1 - \exp(-H(t))$$

で推定し、その時の故障率 $\lambda(t)$ は、

$$\lambda(t) = (\text{時刻}(t, t + dt) \text{の故障数}) / (\text{時刻} t \text{の直前の生存数})$$

で有る。

【0160】以上より、その手順は下記となる。

【0161】①：データを小さい順より並べる。

【0162】②： $F(t)$ の推定値として、(小さい方からの故障順位)/(総データ数+1)

③： $m$ を求める。

【0163】④： $\eta$ を求める。

【0164】⑤：ある規定の時間 $t$ における信頼度を求める。

【0165】又、上述の如く累積ハザードによる場合は

下記となる。

【0166】①：データを小さい順より並べる。

【0167】②：その逆順位の逆数を計算する。これは各時刻でのハザードの推定値である。

【0168】③： $F(t) = 1 - \exp(-H(t))$ を求める。

【0169】④： $m$ を求める。

【0170】⑤： $\eta$ を求める。

【0171】⑥：ある規定の時間  $t$  における信頼度を求める。

【0172】最終的に、その時間が決定される。

【0173】一方、他の方法として、取得されるデータが多い場合、例えば常設形の試験機でその状態を逐次監視できる試験の場合等には、下記の手法により前記機器\*

$$L = \prod_{i=1}^n \{f(t_i) * S(t_i)\}^{(\delta_i)} * \{g(t_i) * R(t_i)\}^{(1-\delta_i)}$$

【0177】となる。 $f(x)$ 、 $g(x)$ は $X$ 、 $Y$ の確率密度関数であり、 $S(x)$ 、 $R(x)$ はその信頼度関数である。この尤度を $X$ 、 $Y$ の未知母数のみ関数とし、これを最大にするものを前記未知母数の推定値とする。

【0178】 $X$ の分布を推定する場合は、

$$L = \prod \{f(t_i)\}^{(\delta_i)} * \{R(t_i)\}^{(1-\delta_i)}$$

とし、計算上は、これを最大化すれば求まる。前述のワイブル分布の最大値は、下記の式を解けばよいことになる。

$$\begin{aligned} 1/m + \sum (\log(t_i) * \delta_i) / \sum \delta_i &= \sum (\log(t_i) * t_i^{\eta}) / \sum t_i^{\eta} \\ \eta &= (\sum (t_i^{\eta}) / \sum \delta_i)^{(1/\eta)} \end{aligned}$$

図10に、本システムにおける適合曲線予測のフローを示す。

【0180】図9に示す様に、監視の初期状態 ( $T_0$  時) においては、 $D^2$  は前記基準空間内にある。継続して前記図7の処理フローに従い監視を継続しておくと、 $T_s$  時に、 $D^2$  の値が前記管理値である  $D^2_{lim}$  以上となり、また  $T_s + 1$  でも増加の傾向にあった。従って、この  $T_s$  時を機器の劣化或いは異常或いは故障の始点と診断できる。

【0181】さらに、監視を継続し、 $D^2$  の値を計算していくと、徐々に  $D^2$  は増加の傾向であった。即ち、付帯機器の正常動作時の基準空間から、徐々に付帯機器の状態が何等かの理由 (部品劣化、部品の故障、磨耗等) で、もはや正常な動作ではなく、その状態がある速度で進展していることを意味している。この値は最終的に、付帯機器を停止しなければ付帯機器自身が破損して使用出来なくなる状態変数値 (換言すれば機器運転のトリップ値や機器の最高許容値) から計算される  $D^2_{max}$  まで進行し続ける。この  $D^2_{max}$  は付帯機器によって相違するので、付帯機器毎に決定してある。

\*の状態変化を推定できる。

【0174】即ち、対象とする寿命を表わす変数を $X$ 、取得されるデータの状態を表わす変数を $Y$ とすると、観測できる状態は $X$ と $Y$ の最小値であり、且つそのデータは試験を止めたか或いは継続されているかである。従って、 $X$ 、 $Y$ は観測されずに、前記 $X$ 、 $Y$ の母集団内のある時刻の事象 ( $t$ 、 $\delta$ ) を観測していることになる。つまり、これらのデータは前記 $X$ 、 $Y$ の母集団内のランダムデータであるため、前記 $X$ と $Y$ は  $(0, \infty)$  をとる確率変数で表現できる。

【0175】従って、今 ( $t$ 、 $\delta$ ) が  $n$  個観測されているとすると、その尤度 ( $L$ ) は

【0176】

【数2】

… (数2)

【0182】かかるこれらのデータから、前記付帯機器の劣化速度を確度良く、予測するのであるが、計算に用いる変数としては、基本的には、前述の如く、前記  $T_s$ 、 $D^2_{max}$ 、と常時監視される  $D^2$  のみで有り、 $T_e$  は存在しない。

【0183】従って、先ず第一に、 $T_e$  を予測する。この値は、観測値から付帯機器の劣化状態の分布の母集団を推定する場合に相当する。この分布がワイブル分布に従うものとすれば、下記の式により、 $t_i$  を求めることになる。

$$\begin{aligned} 1/m + \sum (\log(t_i) * \delta_i) / \sum \delta_i &= \sum (\log(t_i) * t_i^{\eta}) / \sum t_i^{\eta} \\ \eta &= (\sum (t_i^{\eta}) / \sum \delta_i)^{(1/\eta)} \end{aligned}$$

次に、前記  $T_s$  と  $D^2_{max}$  と、この  $D^2 (= \delta_i)$  と  $T_i (= t_i)$  から、適合曲線を求める。本システムでは、この適合曲線の形としては、前述の如く直線形と指数形を用い、更に成長曲線形と特殊関数形を採用している。この理由としては、一般に劣化・故障・異常の速度は、その終端で飽和現象を示す場合も有り得ること、並びに  $D^2$  の観測データにおいて平均的には増加傾向であるが、その値が大きくハンチングした場合には、前記関数形では、その適合精度が劣ることを想定しているためである。これらの具備されている関数を下記に示す。

【0185】①：直線 (多次元を含む) 近似形；

$$y = A + B * t$$

$$y = A + B * t + C * t^2 + \dots$$

②：指数近似形とその変形形；

$$y = A * \exp(B * t + C)$$

$$y = A * \exp((B * t) * \exp(C * t))$$

③：成長関数形；

$$y = A / (1 + \exp(B + C * t + D * t^2))$$

④：特殊関数形；

27

$$y = A / ((t - B)^2 + C) + D + E * t$$

$$y = A * t^{(a)} + C * t^{(-b)}$$

次に、これらの関数計算値と実績データとの残差を各関数毎に計算し、その残差が最小の関数形が選出される。この選出された関数形により、Tz xを求める。この値は前述の如く、管理機器(1)1の表示手段10bに表示・開示される。このため、逐次付帯機器の状態変化を監視することが可能である。

【0186】かかるフローにおいて、選択される関数形はその残差が最小の関数が選択されるが、D<sup>1</sup>が小さい場合は直線形、指数形、成長形、特殊形のいずれが選択されても進捗予測には影響が少ないと判断できる。何故なら、付帯機器の劣化状態は初期段階であり、その信頼度が非常に低いので、無視できるレベルである。このため、場合によっては、データ点数がある程度蓄積された段階、例えば5点以上から追跡・適合を実施するフローでも構わない。

【0187】これらの関数形は、前記D<sup>1</sup>が新たに観測入力された時点で再度計算され、最適の関数形が選択されるので、付帯機器の状態変化を観測される毎に忠実に捉えることができるという意味で予測結果の確度向上に寄与するものである。又、蓄積されるD<sup>1</sup>が多い程、その適合曲線はその信頼度が向上するのは周知である。かかる上述したフローは、管理機器(1)1の計算手段10b内の尤度法のアルゴリズムによりmとnを求めているが、前述の如く、

①：データを小さい順より並べる。

【0188】②：F(t)の推定値として、(小さい方からの故障順位)/(総データ数+1)、或いは、その逆順位の逆数を計算する。これは各時刻でのハザードの推定値であり、F(t)=1-Exp(-H(t))である。

【0189】③：mを求める。

【0190】④：nを求める。

【0191】⑤：ある規定の時間tにおける信頼度を求める。

【0192】より、Te、Tz xを計算するフローと計算アルゴリズムでも良い。

【0193】以上かかる予測法によれば、付帯機器の状態変化を確度良く予測できるので、その劣化速度も高品質に予測することができる。又、本手法によれば、付帯機器の器差や外部環境の影響も低減できるので、保守・メンテナンスに好都合である。

【0194】図11に本システムの管理機器(1)1の表示手段10bと入力手段10cの構成例を示す。

【0195】本システムでは前述の如く、前記データベース101には各付帯機器毎に二次元の“表”の形式をとっており、その“行”毎に付帯機器の状態変数や保守管理情報等が蓄積されているので、表示手段10bでは、それらのデータから計算手段10aにて計算される項目と監視される状態パラメータを加味し、少なくとも

28

も、付帯機器毎の状態変化を知らしめる項目、例えば“正常稼働中”、“注意傾向”、“予防時期”、“停止・メンテナンス中”等のカテゴリーに分類して表示・開示することができる。

【0196】また、より詳細な状態変化を確認する場合は、入力手段10cにより、所定の付帯機器に対して、“詳細情報要求”のカテゴリー部を入力すると、該当付帯機器の“行”を順次読み出し、各フィールド毎に必要な情報を分配して“時系列変化”や“パラメータの度数分布”や“リアルタイムの状態変化”等を可視化して開示することができる。

【0197】更に、入力手段10cにより、所定の付帯機器に対して、“保守・来歴・アラーム要求”のカテゴリー部を入力すると、前記各“行”の情報の内、保守管理項目の“アラーム”と“保守実績”等の情報が、表示手段10bに出力して表示される。又、管理者或いは作業者は、前記の表示手段10bに表示・開示された情報に従って、付帯機器の入力手段10cにより、その管理内容を保存する場合は、システムのガイダンスに従って、その内容・項目を、各付帯機器毎に前記フォーマット群の所定の位置に入力登録し、データベース101の情報を更新できる。一方、入力手段10cから、随時その内容を順次読み出し、前記機器の変遷状況、トレンド、来歴等の情報を得ることもできる。またその内容を所定の形式の“報告書”に印刷することもできる。

【0198】かかる構成によれば、付帯機器の管理業務時に必要な情報を管理機器(1)1の表示手段10bに表示し、データベース101から随時その内容を順次読み出し、付帯機器の保守情報やその状態変化を容易に得ることができるので、その管理業務の効率が向上する。更に、管理機器(1)1の内容は、LAN13を介して別の管理機器(2)2にその内容を開示することができるので、管理者の業務負担を低減できる。

【0199】更には、生産設備や生産の日程を管理する上位システムに付帯機器の“稼働状態”や“保全計画”を開示することができるので、ライン稼働計画やラインの工程管理や生産計画の円滑化が達成できる。

【0200】これまで述べた本システムの付帯機器の監視・診断・予防保全は、半導体ラインの如くそのプロセスの規模が大きくなってくると、製造設備の台数も増加し、それに伴って排気ポンプ等の付帯機器も増加し、稼働、修理等の来歴管理や部品管理などの付帯機器全般の運用管理に手間を費やすこととなるため、システムのには、柔軟で且つ拡張性が良いことが必要である。

【0201】このため、本システムでは、変換器20、21、22で付帯機器の状態変数を収集することで、ハード的に区分する構成としている。即ち、増設が必要である場合は、該当付帯機器用の変換器とセンサ群をケーブル202で接続し、且つ変換器をケーブル201にて何れかの管理機器に付加すれば良い。或いは、既設の変



換器のチャンネルが余っている場合にも、その入力端子部にケーブル202を接続することで接続できる。この接続作業は別々に実施できるので、管理機器を停止する時間は非常に少なく、短時間で再立ち上げが可能である。

【0202】一方、管理機器では、ガイダンス機能やデータベース101の書式を追加する必要があるが、登録・追加に当たっては、各付帯機器単位でテーブル化されており、また既にリレーション化されているので、簡単なテーブルのみの追加作業で済む。このため、短時間で再立ち上げが可能となっている。

【0203】図12は本システムの状態変化を各部位毎に整理した図である。

【0204】各部位へのデータのフロー、各部での処理内容は既に説明したので割愛するが、本システムでは、総合管理用のフォーマット62をデータベース101に追加している。このフォーマット62では、付帯機器の適用されるプラントやライン毎に付帯機器の保全や保守の実績管理を行い、これらの情報から、より総合的な予防保全と計画を実現することを目的としている。

【0205】即ち、図8に示す様に、付帯機器の稼働状況とその実績をベースとした“当該機器の保全実績”を主体としたデータの構成例であって、二次元の“表”の形式をとっている。

【0206】各付帯機器の“当該機器の保全実績”の実績データにおいて、各付帯機器毎に“行”として登録し、この“行”を各付帯機器毎に並べてデータベースとして構成される。“行”情報は、“機器名称”、“プラント名称”、“付帯機器が設置されたプロセス名や用途”等の共通部データと、付帯機器の“メンテナンス回数”や“実績稼働時間”や“保守・メンテに要した費用”や“寿命、MTTF値”等の保守・保全を実施した実績データ部とからなり、各々の内容が“表”における“列”に対応して登録されている。付帯機器毎の“寿命”或いは“平均故障寿命(MTTF)”は前述の統計手法により、前述の $T_s$ 、 $D_1^1, \dots, D_1^i$ のデータより算出し、蓄積したデータである。

【0207】かかる構成により、付帯機器を新たに導入する場合やn倍プロセスを立ち上げ時の付帯機器の選択時に、これらのデータより、その計画段階から、保守費用や投資・回収等の経済性の指標の観点でも機器の管理と計画を実現でき、より効率の高い管理・計画業務が可能となる。

【0208】本システムの他の実施例としては(図示せず)、図1に示す構成において前記センサ群の情報をRS232C或いはRS485等の通信ケーブル201による接続をロンネットやデバイスネット等のネットワークで接続し、前記センサ群の情報を変換器21を介さずに管理機器(1)1に直接入力し、収集する方式とする。この時、前記振動センサに関しては変換器の周波数

分析機能を管理機器の観測データの収集後のフローに、その機能が付加される構成となる。

【0209】また、付帯機器の進展速度を求める適合曲線は、前述の実施例で示した関数には限定されず、適宜これらの変形形や新たな関数を追加・具備させて適用することも可能である。

【0210】かかる場合でも、本システムの効果は損なわれることはなく、ハードの構成要素を低減できると共に、ネットワークによりオープン化が拡張され付帯機器の情報の展開や開示が益々容易になり、拡張性の優れたシステムとなる。

【0211】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の機器監視・予防保全システムによれば、付帯機器の正常動作時及び異常・故障動作時の劣化兆候や進展速度の状態変化をオンラインで自動収集できることにとどまらず、該当する付帯機器の総合的な監視と劣化の診断・分析・判断を実施できるようにしたので、確度の高い機器の予防保全を実現できる。

【0212】また、劣化・故障などの判断やその処置を的確にかつ迅速に行うことができるので、製品の品質と生産性が向上する。

【0213】また、データベースには、監視される付帯機器の監視データのみではなく、実績稼働データやメンテナンス履歴等の保全用の管理データを蓄積でき、付帯機器の総合的な管理業務を実現できるので、保全管理や保全計画の管理業務を低減できる。そして、メンテナンス時や付帯機器の増設時においては、データ収集を停止することなく、該当部分の修正のみで短時間で実施することが出来るので、柔軟性を有し、作業工数数を減らすことができる。

【0214】更に、システムの構成機器として、特殊な機器を使用しないので汎用機器のみでシステムを構成することが可能で有り、経済性に優れる。

【0215】このように本発明の機器監視・予防保全システムでは機器の状態変化を的確に捉えて確度の高い診断と追跡が実現されているので、信頼性に優れ、且つ製造設備のトータルメンテナンスにも寄与できるので、製品の品質が向上するとともに歩留まりも向上し、生産効率が向上に寄与できるシステムである。さらに、システムのメンテナンス環境も非常に使い易くなっており、さらにシステムの構成費の低減をも可能としている。さらに、オンラインシステムの短期立ち上げが可能なので、増々の省力化を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示す機器監視・予防保全システムのシステム構成図。

【図2】機器の以上要因の説明図。

【図3】データフロー説明図。

【図4】データサーバ内フォーマットの実施例。

31

【図5(1)】データ変換、加工フロー説明図。  
 【図5(2)】データ変換、加工フロー説明図。  
 【図6】空間作成法と診断手法説明図。  
 【図7(1)】処理フロー図。  
 【図7(2)】処理フロー図。  
 【図8】データサーバ内フォーマットの実施例。  
 【図9】機器の状態変遷説明図(例)。  
 【図10(1)】適合曲線予測フロー説明図。  
 【図10(2)】適合曲線予測フロー説明図。  
 【図11】表示手段部の表示例。  
 【図12】システムの状態変化と機能推移図。

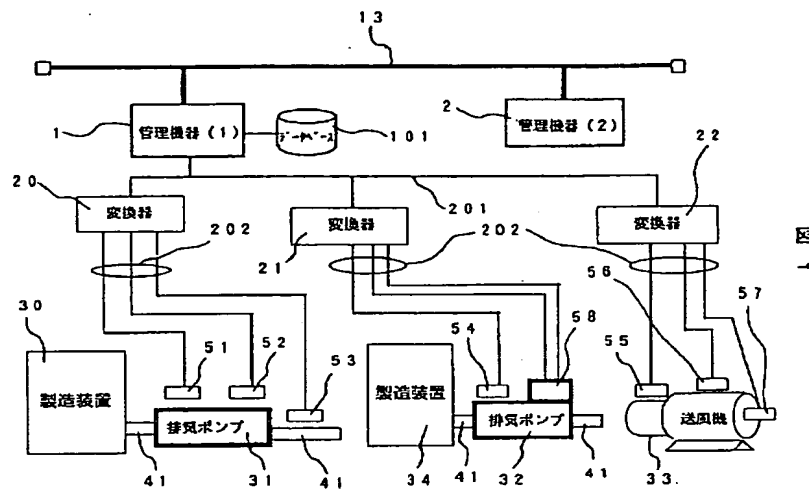
32

\*【図13】機器の劣化・異常診断の処理手法・手順を示すフローチャート。

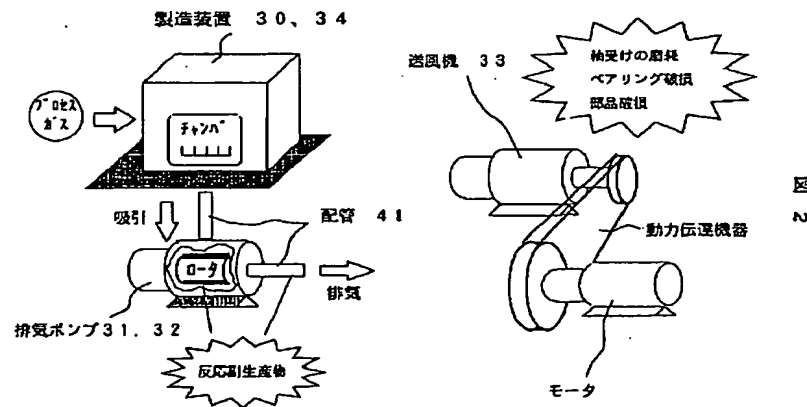
【符号の説明】

1…管理機器1、2…管理機器2、13…LAN、20～23…変換器、30、34…製造設備、31、32…付帯機器(排気ポンプ)、33…送風機、41…配管、51、54、55…センサ(振動)、52、56…センサ(温度)、53…センサ(圧力或いは流量)、57…センサ(音響或いはアコースティックエミッション)、58  
 10…制御ボックス、101…データベース、201…通信ケーブル、202…センサ信号ケーブル。

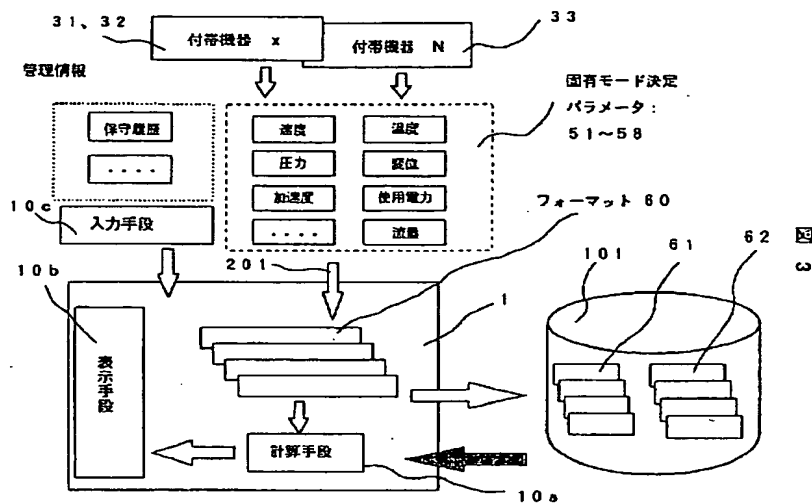
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

(1) フォーマット60

項目 No.	1 加速度 速度	11 周波数 (Hz)	12 強さ	21 周波数 (Hz)	22 強さ	2 圧力	3 温度	4 電力	...	n
1										
2										
3										
...										
n										

(2) フォーマット61

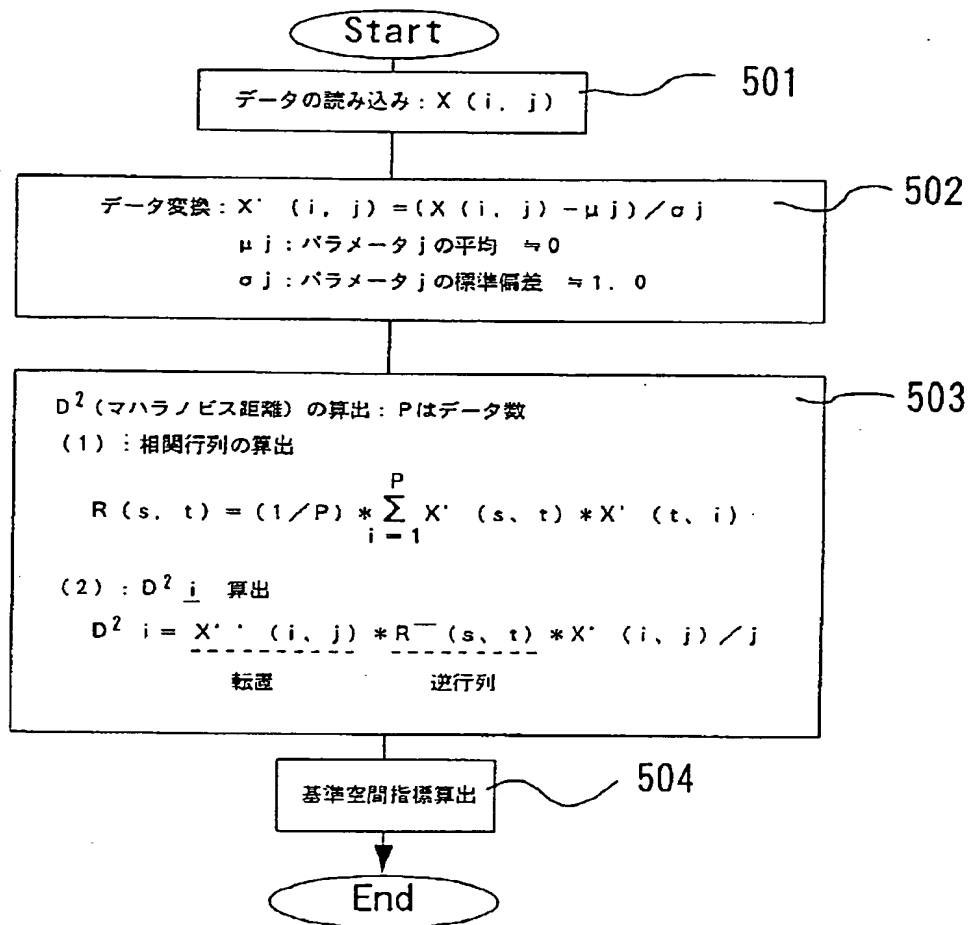
日時 時刻	機器 名称	処理実績 項目A	処理実績 項目B	警告 項目	一口メモ	保守ID
時間	名称 データ	処理実績 データA	処理実績 データB	設定 データC	データD	データD
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		処理実績データ		保守データ		
共通部データ		機器個別部データ				

【図8】

付帯機器 名称	プラント 名称	プロセス名 用途	実績稼働時間 T <sub>o</sub>	メンテ 時期	修理 費用	寿命, MTTF	メモ
データ	データ	データ	データA	データB	データC	データD	データE
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
共通管理データ			付帯機器個別保全実績データ				

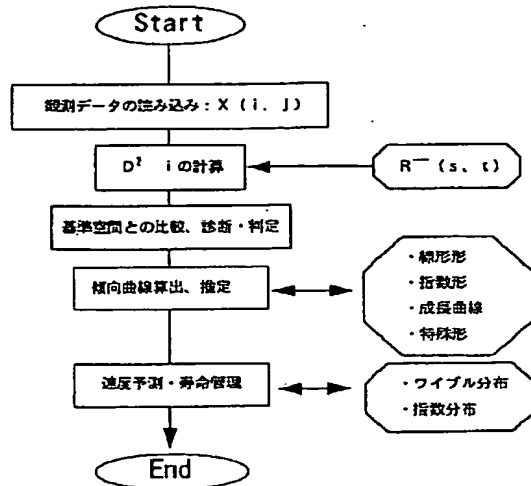
【図5(1)】

図5(1)



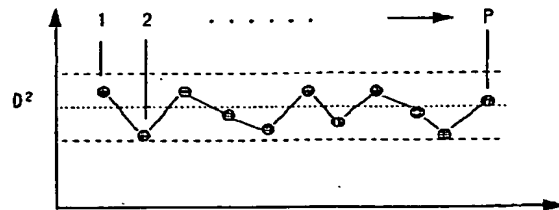
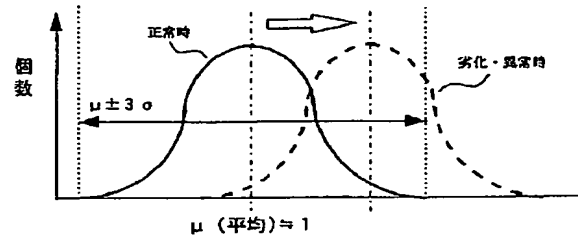
【図5(2)】

図5(2)



【図6】

図6

(1)  $D^2$  計算結果分布\_1(2)  $D^2$  度数分布

【図9】

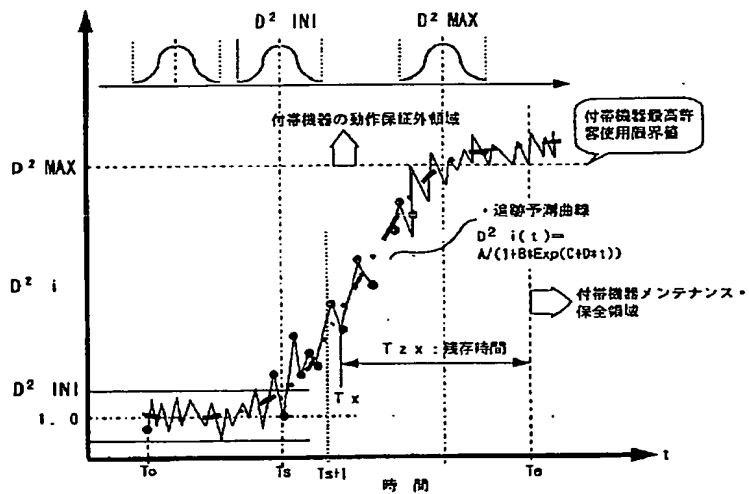
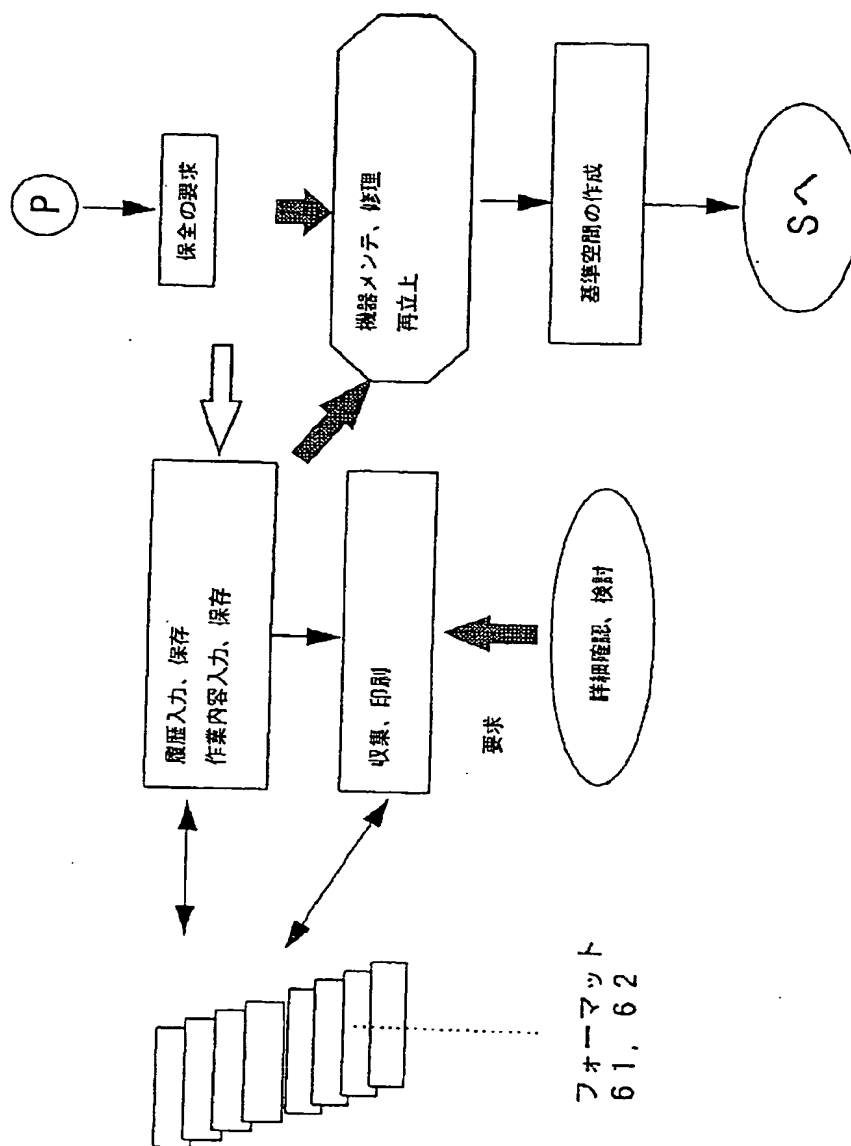


図6



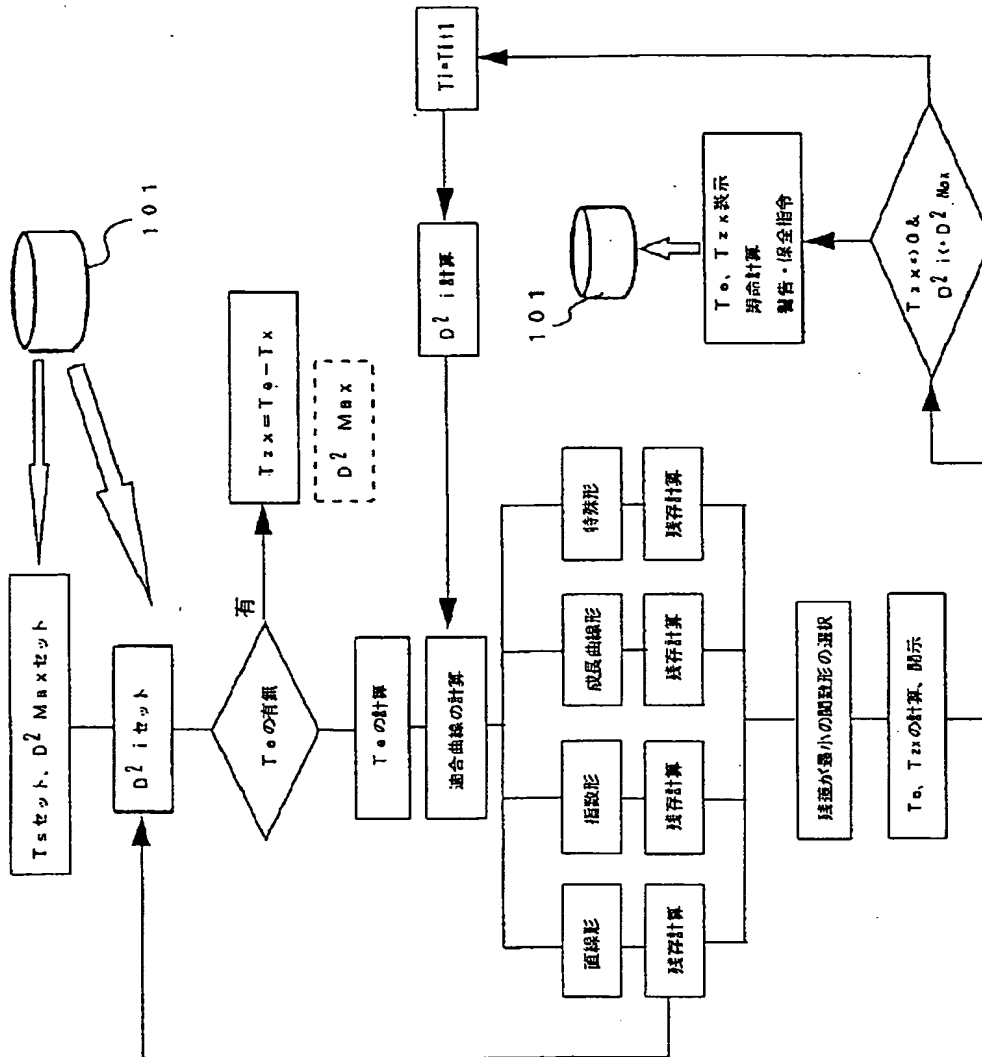
【図7(2)】

図7(2)



【図10(1)】

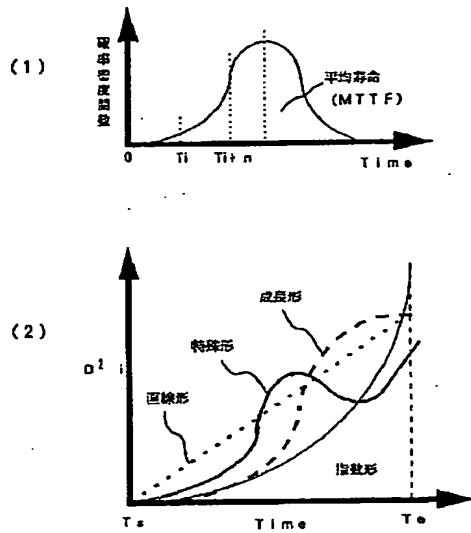
図10(1)





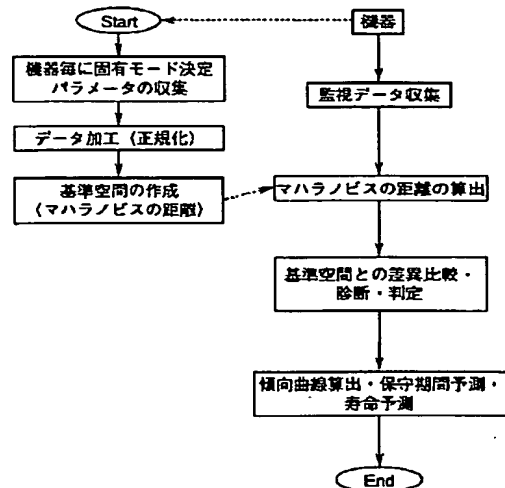
【図10(2)】

図10(2)

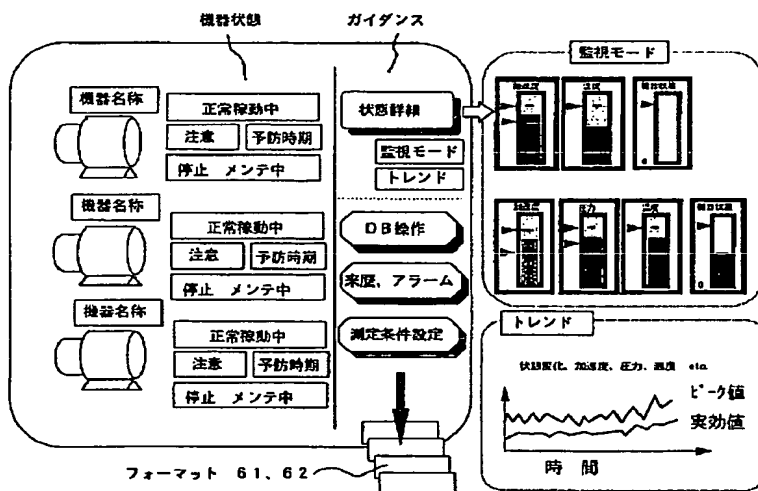


【図13】

図 13

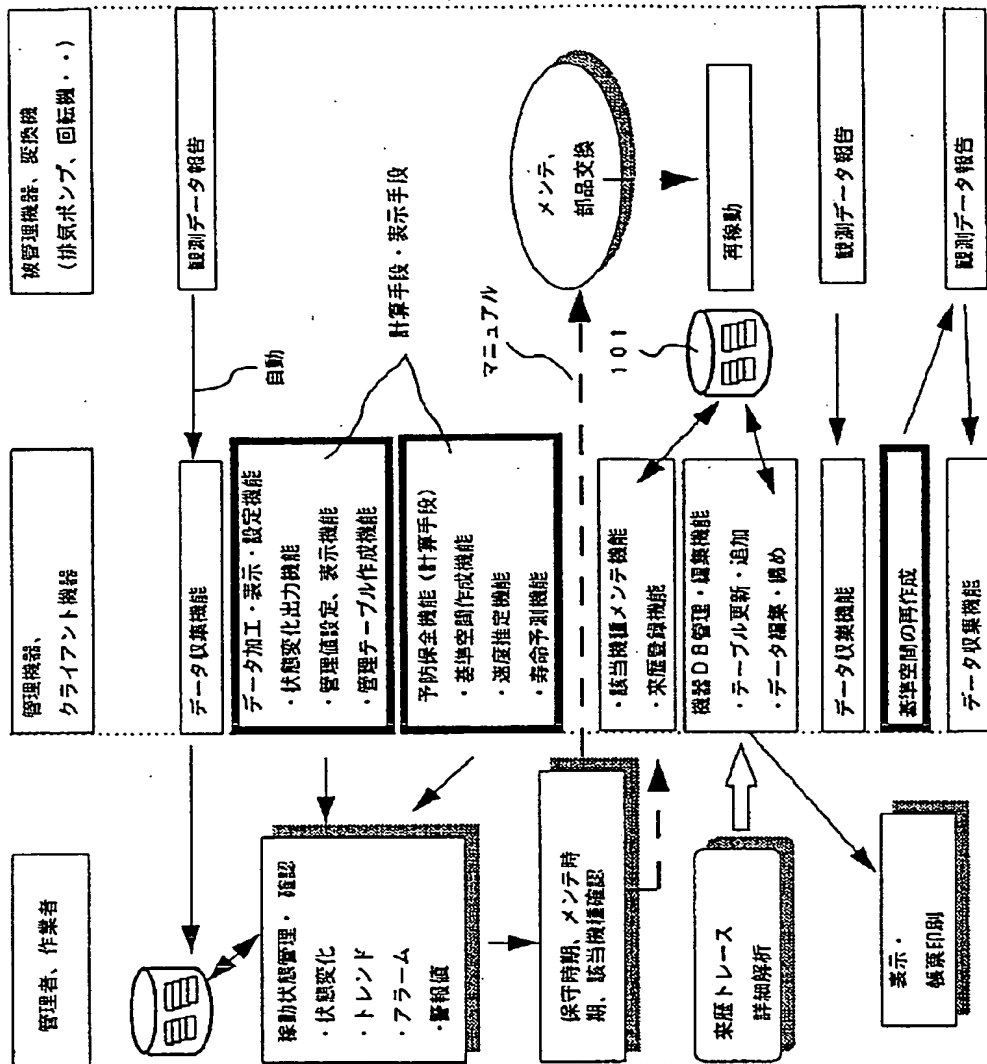


【図11】



【図12】

図 12



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第3区分

【発行日】平成14年8月9日(2002. 8. 9)

【公開番号】特開2000-259222(P2000-259222A)

【公開日】平成12年9月22日(2000. 9. 22)

【年通号数】公開特許公報12-2593

【出願番号】特願平11-56610

【国際特許分類第7版】

G05B 23/02

H01L 21/02

【F I】

G05B 23/02 R

T

H01L 21/02 Z

【手続補正書】

【提出日】平成14年5月28日(2002. 5. 28)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】機器監視・予防保全システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】プラント内の複数の付帯機器の監視と予防保全計画を行う機器監視・予防保全システムにおいて、前記付帯機器の状態変化を捕らえるための複数のセンサと、

前記複数のセンサからのデータを収集し、前記付帯機器の状態変化や保守管理を行う管理機器とを有し、前記管理機器には、前記センサからのデータを保存・蓄積するデータベース部と、当該データベース部に蓄積されたデータに基づいて前記付帯機器の状態変化の監視やその劣化・故障及びその速度等の状態変化を把握するための計算手段と、当該計算手段の計算結果を表示する表示手段と、前記データベース部のデータを編集・追加・登録をオペレータが行うための入力手段とを備えたことを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項2】請求項1において、前記計算手段は、前記データベース部に蓄積されたデータに基づいて、前記付帯機器の正常な動作状態を定義する基準空間を作成することを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項3】請求項2において、前記基準空間の指標として、マハラノビスの距離( $D^2$ )を用いることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

ム。

【請求項4】請求項2において、前記基準空間を作成する際のデータ数は、少なくとも前記付帯機器に取り付けたセンサの数以上であることを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項5】請求項2において、前記計算手段によって作成される付帯機器の基準空間は、付帯機器を新たに導入する前、若しくは付帯機器が保全や修理がなされた後に作成することを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【請求項6】請求項2において、前記作成された基準空間と、予め正常な動作状態が定義された基準空間とをマハラノビスの距離( $D^2$ )で比較することを特徴とする機器監視・予防保全システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は機器の予防保全システムに関し、特に半導体製造装置に具備される排気ポンプや一般産業用の回転機器等の設備の予防保全に係り、機器からの状態変化情報と管理情報とを統合して、機器の監視と予防保全を実現するシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】従来技術を半導体工場の製造ラインに適用されている排気ポンプを例にとり説明する。

【0003】現在の半導体工場の製造ラインでは、より高効率の生産システムの構築によりタイムリーな生産立ち上げを実施する必要がある。かかる生産システムの使命は、歩留まり、品質の向上、TAT短縮、スループット向上であり、製造設備の自動化運転と生産管理を融合したシステムが必要であり、半導体工場を含む生産工場の生産システムは生産計画に基づき、生産設備を制御するFMS(Flexible Manufacturing System)化が進み、

これを実現するためのネットワークを利用したC I M (Computer Integrated Manufacturing) 化が強力に推進されている。

【0004】半導体製造装置に付帯する排気ポンプやその他の機器については、機器に発生した異常を捉え、その情報をもとに確度の高いメンテナンスを実現する予防保全システムが種々提案されているが、その具体的な実施内容は、ポンプ等の各機器毎にその実績稼動時間を調査、分析し、その結果(情報)から人手により保守管理を行うものであった。

【0005】また、前記C I M化が推進されたシステムにおける予防保全については、一般には、前記付帯機器であるポンプや一般の回転機器においては、その部品等が劣化、破損した場合に発生する“音”や“振動”を計測し、その結果で異常の有無を判断する保全システムであった。

【0006】かかる従来の方法では、各付帯機器の測定や制御に直接関係するセンサ素子やモータ等の構成要素自体の変化(本発明においては、これを内的要因とする)に基づく情報を捉えることが前提であり、各付帯機器の出力等から内的要因を捉えることにより予防保全を行っているものであった。

【0007】ところで前述の付帯機器は内的要因以外に、付帯機器に接続される外部配管の破損や、配管内での流体物質の堆積、及び機器自身内の堆積物等の付帯機器の測定や制御に直接関係する構成要素の変化とは異なる要因(本発明においては、これを外的要因とする)によっても、その動作期間が左右される。一般には、機器の動作保証内で何らかの故障が発生している場合は、外的要因が支配的で有り、内的要因による故障の確率は低い。

【0008】例えば、半導体製造設備に用いられている排気ポンプ等は、常時種々の反応ガスを排気するので、ポンプ内部と外部配管にそれらの副産物が堆積する。この副産物の堆積の影響を除去するため、半導体製造設備では、比較的短時間でポンプの交換やメンテナンスを行っている。

【0009】又、一般産業用の回転機器(ポンプ、圧縮機、モータ)等では、定常負荷或いは変動負荷でもその動作を保証しているので、内的要因による劣化の兆候の検出が重要である。外的要因としては、適用する流体の腐蝕性や配管の洩れ等が考えられるが、これらの課題は施工段階にて対策処理(腐蝕性を要求される場合は、機器の構成材料、配管材料を腐蝕性の高い材料で構成する、等)が成され、それらの影響を低減している。

【0010】従って、予防保全システムとしては、前述の内的要因による劣化と外的要因による劣化を同時に検出し、これらの情報で機器の予防保全を実施する方法の確立が望まれている。

【0011】図2は、排気ポンプや送風機等の監視され

るべき付帯機器の、その劣化要因を説明するための図である。

【0012】前記半導体製造ラインの各製造装置30、34では、シリコンウェハに成膜するためにチャンバーへ成膜用のプロセスガスを投入し、所定の処理後はその残存ガスを配管41を介して前記チャンバーから排気ポンプ31、32により外部に排気させる構成となっている。この排気系では、プロセスガスの未反応な残留成分により、配管41及び排気ポンプの内部のロータに反応副生成物が付着する。この反応副生成物は、装置の稼動時間増加と共に成長し、排気ポンプの回転負荷が増加し、最終的に製造設備のプロセス処理中でも、排気ポンプが停止してしまう。したがって、製品の不良を発生するとともに、生産が混乱するという問題があった。

【0013】かかる現象は排気ポンプの性能・仕様上の問題では無く、上述の如く、残存ガスの反応副産物の成長による負荷の増加であり、外的要因により比較的短時間で付帯機器が劣化してしまう場合である。

【0014】一方、送風機33の場合は、その計画・導入段階で所定の設備能力と負荷量に合致した機種が選定され、かつその運転は連続定負荷運転のため、機器内部の部品の偶発的故障や変形、破損、磨耗による内的要因の方が支配的である。

【0015】上述の何れの要因に係わらず付帯機器にストレスが作用すると、その作用が何らかの形で付帯機器に現れることは周知である。例えば、回転機器の構成部品の一部が、何らかの理由で損傷した場合、この現象は二次的に振動や高周波成分のアコースティックエミッション(Acoustic Emission)を発生する。

【0016】又、J I S B 0906 に掲載されているように、“機械の表面で測定できる振動は機械内部の振動応力又は運動の状態の目安を示すものに過ぎない”という記載内容からも、付帯機械内部に何らかの変化が生じた場合に、その変化が二次的に振動に発生する事を示唆している。或いは、その他の物理量である熱、電流、電圧、音、光、電磁波等にも変化が現れる。

【0017】従って、上述のいずれの要因にかかわらず、付帯機器を効率良く有効に運転するためには、これらの物理量の変化現象を初期段階で的確に捉え、次にその劣化速度を予測し、所定の予防保全計画を実施するのが好ましい。

【0018】従来、前記これらの付帯機器の劣化診断・劣化速度や劣化の早期検出方法に関しては、特に内的要因が支配的であり、かつ多くのデータを蓄積した特定の付帯機器に関しては種々検討がなされ、一部実用化されている。しかし、上述の如く、外的要因が支配的である付帯機器や、新たに導入する付帯機器に関しては、付帯機器の実績データや機器の固体差や設置状況や環境変化の影響の関係が未知であるので、確度の高い劣化の兆候を捉えるための従来の手法や判定基準をそのまま適用で

きない。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】従来の予防保全システムにおいては、主に以下の3項目の問題がある。

(1)：付帯機器が外的要因或いは内的要因により、異常、或いは劣化の兆候を示した場合に、その兆候を捉える方法、手段が無く、確度の高い判断と維持管理が出来なかった。

【0020】例えば半導体製造装置、特に、低圧・プラズマCVD装置に用いられている排気用の真空ポンプでは、装置稼動中は停止すること無く作動することが必要であるが、常時、成膜用のプロセスガスによる反応生成物がポンプ内部と排気配管に蓄積しており、蓄積量が増加するとその影響によりモータの最大負荷値を越え、結果として装置稼動中でもポンプが停止して、生産に多大の影響を与えてしまう。また、この劣化の状況を捕らえるための手法、システムが無いため、維持・保全管理もままならなかった。

【0021】更に、製造プロセスの規模が大きくなるに伴い装置台数も増加し、それに比例して排気ポンプ台数も増加することにより、それらの運用管理に益々手間を費やすこととなり、業務効率が低下していた。

(2)：劣化・異常診断の結果の質を向上出来なかった。

【0022】つまり、異常、或いは劣化の兆候に基づいた対象機器のメンテナンスの時期等の情報を開示出来なかった。

【0023】効率的に、維持・管理計画を行うためには、劣化の兆候を把握し、故障時期やその原因を事前に掴むことが必要である。しかし、一般の回転機器の判定基準を一部参考にすることはできるが、上述の排気用の真空ポンプのように劣化の進行が外的要因による場合、或いはその兆候が顕著でない場合は、劣化初期の兆候を定量的に把握する新たな判定基準と手法が必要である。

【0024】また、劣化の傾向を継続して追跡するため、定期的なデータ収集と解析を効率的に行えるシステムが必要である。

【0025】更に、劣化判定基準の作成に当たっては、内的、外的要因に係わらず、劣化状態をより確度が高い手法で捕らえ、総合的な指標と判断手法を整備する必要がある。

(3)：(1)、(2)項を実現する経済性に富むシステムがなかった。

【0026】管理システムとしては、前記監視される付帯機器の補修・更新工事などの保全管理に役立てるシステムが必要である。また、劣化診断によって、劣化状態を総合的に診断し、その維持管理に有用なコメントを自動的に出力する機能等が必要である。

【0027】更に、上位の管理機器と密接に連結し、効率の良い監視と管理をリアルタイムに行えるシステムが

必要である。従来のシステムでは、付帯機器の数値データの収集に留まり、このデータを基にした機器の劣化の兆候、傾向を加味した運転状態の把握や異常の有無の判定を実施できなかった。このため、巡視点検作業実施から付帯機器の運転状態の確認までに暫くの時間差が生じ、不具合などの発見が遅れるため、的確な処置を迅速に行うことができなかった。

【0028】プロセス処理の複雑化による生産設備の複雑化のため、実際の生産設備のオンライン接続作業の立上げ工数の増加に伴い、生産設備に付加されるポンプ等の付帯機器もその接続作業の工数の増加が見られ、短期立上げ可能な柔軟なシステムが提供できなかった。

【0029】本発明は、上記の問題点に基づき、以下に示す目的を有するものである。

(1)：機器が外的要因或いは内的要因により、異常或いは劣化となる兆候を捉える方法・判断の確度を向上する。

(2)：劣化・異常診断の結果の質を向上する。例えば、(1)項で異常・劣化の判断を下した後、メンテナンスの時期の情報を開示する。

(3)：(1)、(2)項を実現する経済性に富むシステムを構成する。

【0030】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明の特徴は、プラント内の複数の付帯機器の監視と予防保全計画を行う機器監視・予防保全システムにおいて、前記付帯機器の状態変化を捕らえるための複数のセンサと、前記複数のセンサからのデータを収集し、前記付帯機器の状態変化や保守管理を行う管理機器とを有し、前記管理機器には、前記センサからのデータを保存・蓄積するデータベース部と、当該データベース部に蓄積されたデータに基づいて前記付帯機器の状態変化の監視やその劣化・故障及びその速度等の状態変化を把握するための計算手段と、当該計算手段の計算結果を表示する表示手段と、前記データベース部のデータを編集・追加・登録をオペレータが行うための入力手段とを備えたことである。

【0031】本発明によれば、付帯機器の予防保全を実施するに当たり、確度の高い異常診断を行うことができるため、付帯機器の管理業務の効率向上と省力化を達成できる。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明の具体的なシステムについて図を用いて説明する。

【0033】まず、本発明が適用されるシステムのハード構成について説明する。

【0034】図1は本発明の機器の予防保全システムの一実施例を示すシステム構成図である。

【0035】図1は、半導体製造ラインの製造装置30或いは製造装置34に具備される付帯機器の管理を行う

システムを示す。本システムのハード構成としては、パソコン等の管理機器（付帯機器を管理する上位のコンピュータ）（１）１、他の管理機器（２）２、前記管理機器（１）のデータベース１０１、監視対象となる付帯機器として排気ポンプ３１、３２、送風機３３、そして監視対象の各付帯機器に取り付けられる各種のセンサ５１～５７、各種センサからの信号を取り入れ規定の信号に変換する変換器２０、変換器２１、変換器２２、から構成される。前記各種のセンサは前記変換器２０、２１、２３とRS232CやRS485等のセンサ信号ケーブル２０２にて接続され、これらの変換器は、前記管理機器（１）１と通信ケーブル２０１を介して接続される。更に、前記管理機器（１）１は、他の管理機器（２）２とLAN１３を介して接続され、CSS（クライアントサーバシステム）を構成する。

【００３６】図１に示す５１～５７は前述の物理量の状態変化を常時的に捉えるために、付帯機器に取り付けられるセンサ群である。本発明においては、振動センサ、圧力或いは流量センサ、温度センサ、電力計と絶縁計、音響センサ等が使用される。

【００３７】ここで振動センサからは、付帯機器を破損することなく、構成部材である軸受けやケーシングの振動データを得る。振動データには、加速度、速度、変位の実効値データと、これらのデータから周波数解析した結果のデータ（周波数値、ピーク値）がある。

【００３８】圧力或いは流量センサからは、付帯機器の出力である吐出圧力や、配管の流体抵抗を含めた圧力、流量等のデータを得る。

【００３９】温度センサからは、付帯機器を破損することなく、構成部材である軸受けやケーシングの表面温度データ（単点）或いはサーモグラフによる温度分布データを得る。

【００４０】電力計と絶縁計からは、付帯機器の使用する電力量のデータや絶縁のデータを得る。

【００４１】音響センサからは、付帯機器を構成している部材の内部に亀裂等が発生し、進展する場合に発生する音響のデータを得る。

【００４２】具体的には本実施例では、排気ポンプ３１のケーシング部には軸方向と径方向にそれぞれ振動センサ５１を、さらに温度センサ５２を取り付け、また配管４１に圧力或いは流量を測定するセンサ５３を取り付けた構成としている。また、排気ポンプ３２のケーシング部には、軸方向と径方向にそれぞれ振動センサ５４を取り付け、更に排気ポンプの運転制御を実施する制御ボックス５７内の信号、例えば圧力、流量、温度、電力量等を直接変換機２１へ取り込む構成としている。更に、送風機３３のケーシング部には軸方向と径方向にそれぞれ振動センサ５５を取り付け、更に温度センサ５６とその軸に音響或いはアコースティックエミッションを測定するセンサ５７を取り付ける構成としている。

【００４３】いずれの構成においても、付帯機器の状態を多次元で捉える構成で有り、かかるセンサからの出力値は変換器２０、２１、２３にケーブル２０２を介して、所定の間隔で伝送される。又、センサ群の収集間隔や日時等の測定条件は、管理機器に備えられたガイダンス機能（詳細は後述する。）により随時設定や変更が可能である。

【００４４】変換器の主たる機能は、各センサの信号を所定の正規化した電気信号に変換する機能と、その正規化した信号を管理機器に伝送する機能と、振動センサの出力の場合にはその入力波形から周波数分析し、かつ振幅スペクトラムデータを求める解析機能、及びその他のセンサの場合にはそのピーク値や平均値、実効値を求めるデータの预处理加工機能を有している。

【００４５】本発明のシステムは、主たる機能としてデータベース機能、ガイダンス機能、劣化診断機能・傾向管理機能を有する。

【００４６】以下に本システムについての詳細を説明する。

【００４７】センサ群によって観測されたデータと管理データは、変換器を介して管理機器に入力され、データベースとして保存される。また、別途入力される付帯機器の保守履歴やアラーム等のデータも同様に保存する。また、管理機器では、各付帯機器の測定スケジュールや測定項目、データベースの登録等の管理がなされる。測定スケジュールと測定項目は変換器に転送され、付帯機器のセンサ群の情報は計画的に収集される。

【００４８】図３、図４はセンサ群からのデータ収集のフローと収集したデータの編集書式例を示した図である。

【００４９】排気ポンプ３１、３２や送風機３３の各付帯機器の物理量を示すデータは、センサ群から変換器群を介して管理機器（１）１内のワークファイル上に転送され、付帯機器単位で時系列的に収集・編集される。

【００５０】次に必要なデータの収集・編集が完了した時点で、管理機器（１）１のデータベース１０１内に格納される。これらの収集された格納されたデータは、管理機器（１）１に具備された計算手段１０ａ等の計算手段によって、その最大値や最小値、瞬時値、或いは平均値や標準偏差や度数分布等が演算され、表示形式に加工して、表示手段１０ｂ等の表示手段に表示される。このため、付帯機器群の状態変化を管理者に逐次報告できる。又、場合によっては管理機器（１）１の入力手段１０ｃ等の入力手段により、データベース１０１に随時アクセスすることが出来るので、必要な時に、必要な情報を抽出して、編集・整理することが可能である。

【００５１】図４は、前述の管理機器（１）１のワークファイルとデータベース１０１における収集したデータの編集フォーマットの具体例を示すものである。図４（１）は、管理機器（１）１のワークファイル内のフォ

フォーマット60、図4(2)は、データベース101内のフォーマット61を示している。いずれも二次元の“表”の形式を採っている。

【0052】図4(1)のフォーマット60は、一つの付帯機器における編集フォーマットを示している。

“列”情報として、センサ群から得られる物理量の種類の項目を有しており、“行”情報としては、それぞれの物理量のデータであり、収集時間毎に蓄積され増加していく。このフォーマット60は、管理機器(1)1のワークファイル内に、監視すべき付帯機器の数だけ備えられる。

【0053】図4(2)のフォーマット61は、管理機器(1)1で監視すべきフィールド内の全ての付帯機器についてのデータを登録したデータベースとして構成される。登録される情報は、データの収集が行われた“日時・時刻”、付帯機器の名称(図1における排気ポンプ31、32、送風機33など)を示す“機器名称”等の共通部データと、フォーマット60で蓄積されたデータが格納される“処理実績項目”からなる処理実績データ部と、付帯機器毎に警告を出すべき値が設定される“警告項目”、各付帯機器の状態変数の管理値や、付帯機器の異常来歴を記入する“一口メモ”、保守の来歴を文書化して保存する場合に取られる“保守ID”とからなる保守データ部からなり、各々の内容が全ての付帯機器毎に登録されている。

【0054】以上述べたように構成されているデータベース101は、排気ポンプ31、32、送風機33等の付帯機器の自動監視の立ち上げ時、即ち、本システムの付帯機器の監視開始に先立って、予め管理機器のデータベース101に設定されているものである。

【0055】管理機器(1)1の表示手段10bは、データベース101から必要なデータを順次読み出し、各フィールド毎に必要な情報を分配し表示する。

【0056】本実施例においては、フォーマット61の情報の内、“日時・時刻”、“機器名称”と“処理実績項目”は、表示手段10bに出力して表示されると共に、計算手段10aによって、そのデータを加工し、その結果も併せて表示する。付帯機器の管理者或いは作業員は、始業前点検や日常点検作業の開始前に、表示手段10bに表示された付帯機器の情報に従って作業を実施し、また前回の監視結果と今回の監視結果の内容とを同時に入手可能である。

【0057】又、付帯機器の管理者或いは作業員は、表示手段10bに表示された情報に従って管理業務作業や保守計画の作業を実施し、何等かの作業コメントを残したい場合には、管理機器(1)1の入力手段10cを介して、フォーマット61の保守データ部に付帯機器の状態を入力し、その情報を保持、蓄積することもできる。

【0058】本システムでは、各構成機器のイベントが発生する度に、フォーマット60から61へデータの転

送・変換が順次繰り返され、データベースが構築されて行く。

【0059】上記実施例によれば、収集したデータの換算処理等を必要とする管理項目には、予め、そのための計算式等を計算手段10aに設定しておくことで、イベントが発生する度に、採取した付帯機器の物理量のデータから付帯機器の管理指標や予防保全に関するデータを作成でき、その結果を開示し、知らしめることができる。

【0060】劣化診断機能は、各種センサからの情報を基に、該当付帯機器の劣化状態を診断或いは判断する機能であり、正常稼働時の各種センサからの情報で正常稼働時の“基準空間”を作成し、以後は正常稼働時の基準空間の値と各種のセンサの値から計算される空間値を逐次比較することにより、劣化診断を行うものである。

【0061】本発明においては、正常稼働時の“基準空間”を示す指標として、各付帯機器から収集したデータの統計量“ $D^2$ (マハラノビスの距離)”を用いる。マハラノビスの距離は、収集した物理量のデータの種類の数のみで決定される2次元行列であり、使用されたデータの種類の数に対応して、その距離が計算される。その平均値は“約1”で、その標準偏差は $\sigma$ である。

【0062】(A)“基準空間”の作成  
以下、まず“基準空間”の作成方法を図5(1)で説明する。

【0063】ステップ501：機器の正常時のデータを収集。

【0064】各付帯機器に設置された各種センサによって、正常稼働時に観測データを収集し、前述のフォーマット60の如く編集し、データベース化する。フォーマット60に示されるように、付帯機器に設置されるセンサの種類、即ち、収集すべき物理量の種類を $n$ 個(“列”情報)、各物理量毎に収集されるデータサンプル数を $p$ 個(“行”情報)とし、この二次元の表を $X$ ( $i = p, j = n$ )のマトリックスとする。

【0065】尚、基準空間を作成するにあたって収集すべきデータは以下の2点を満たすことが好ましい。

(1)： $p \geq n$ であり、 $p$ は $n$ の2～3倍数以上のデータ数である。

(2)： $n$ 個のセンサの取付位置は、周囲温度の影響が少ない位置である。

【0066】もし周囲温度の影響でそのデータが変動する可能性がある位置にしか取り付けられない場合には、その該当する変動分を付加したデータに加工する。これは劣化現象が長期に渡った場合の季節変化や、センサの設置位置の影響を加味した作成法で有り、より基準空間の作成の確度を向上するためである。

【0067】ステップ502：収集したデータを基準空間を作成するためのデータに加工する。

【0068】各センサ(物理量)毎に、収集したデータの平均値と標準偏差で正規化を行う。

【0069】具体的には、 $X(i, j)$ を以下の式で変換・正規化し、そのマトリックスを $X'(i, j)$ とする。

【0070】

$$X'(i, j) = (X(i, j) - \mu_j) / \sigma_j$$

ここで、 $\mu_j$ はパラメータ毎のp個の平均値

$\sigma_j$ はパラメータ毎のp個の標準偏差

ステップ503：付帯機器の正常時の基準空間を作成する。

$$R(s, t) = \frac{1}{p} * \sum_{i=1}^p X'(s, t) * X'(j, i)$$

【0075】(2)： $X'(i, j)$ の転置行列 $X''$

$(i, j)$ と $R(s, t)$ の逆行列 $R^{(s, t)}$ から $D^2$ を算出

$$D^2 i = X''(i, j) * R^{(s, t)} * X'(i, j) / j$$

ここで、 $D^2 i$ は、収集した各物理量のサンプリングNo.毎に算出される $D^2$ であることを示す。

【0077】ステップ504：基準空間指標の算出。

【0078】ステップ503で算出した $D^2 i$ の値が、各物理量をサンプリングした数、即ちp個得られた状態で、付帯機器の正常時の状態を表現する基準空間を作成する。

【0079】 $D^2 i$ をp個算出すると図6(1)のような結果が得られる。

【0080】この $D^2 i$ の統計を取ると、図6(2)に示す様に、その平均 $\mu$ が1で標準偏差 $\sigma$ の正規分布となる。これを基準空間とする。

【0081】上記計算の後、正常稼働時の基準空間の範囲となる $D^2_{INI}$ を求める。具体的に、 $D^2_{INI}$ は、 $D^2 i$ の統計を取って得られた3~3.5 $\sigma$ の範囲で設定される。この $D^2_{INI}$ は、基準空間からの“最低隔離距離”として定義され、劣化の兆候の始点とする。つまり、 $D^2 i$ の値が $D^2_{INI}$ を超えるようになると、何らかの異常が付帯機器に生じている場合があることを示すものである。

【0082】この基準空間を作成した物理量の何れか、或いは相互作用でいくつかの物理量に変化が生じた場合、例えば、図1における排気ポンプ31に取り付けられた振動センサ51から得られる周波数のデータにおいて、その第一のピーク周波数成分が基準空間作成時の値よりも仮に20ヘルツ変動した場合、 $D^2 i$ の度数分布(空間)は図6(2)に示す破線形状に移行する。即ち、基準空間から、その距離が徐々に離れて(増加して)行くので、排気ポンプ31は正常動作時に作成した基準空間とは異なった状態に変遷したものと判断できる。

【0083】従って、付帯機器を新規に導入して予防保全計画を実現する場合や、本システムを新たに導入して予防保全計画を実施する場合、或いは付帯機器のオーバーホール後や修理後に引き続き監視と予防保全を継続し

\*【0071】ステップ502のデータから以下の(1)式を経て、(2)式で各サンプリング時毎に統計量 $D^2$ (マハラノビスの距離)を求める。

【0072】(1)： $X'(i, j)$ から各物理量間の相関行列 $R(s, t)$ を算出する。

【0073】この段階で、行列は収集する物理量の数だけの $n \times n$ の正方行列(相関行列)となる。

【0074】

※出する。

【0076】

て実施する場合でも、再度本手法にて、その時点での基準空間を作成し直して、この再作成時の基準空間を基準としてシステムを継続的に動作させることができる。

又、従来の単一の警報値による管理法や、各パラメータの組合せによる警報の順位判定法に比べて、より総合的に付帯機器の状態変化を捉えることが出来るので、また統計処理を容易に実現出来るので、信頼性が高いと共に汎用性に優れる。更に、前述の如く計算手段10aと表示手段10cにより、各パラメータの瞬時値や平均値、最大値、最小値や度数分布状態等の加工データも容易に開示できる。

【0084】以上、本発明による基準空間法による付帯機器の状態変数の監視によれば、管理者は改めて、管理する付帯機器の設定値や警報値等のデータベースを作成或いは更新する必要がないので、管理の業務効率が向上する。

【0085】(B)“基準空間”を用いての観測

図5(2)は、前述の基準空間の作成後の処理フローを示した図である。

【0086】ステップ505：各種センサからの観測データを、管理機器のガイダンス機能により、計画的に収集を行う。収集すべきデータは、基準空間を作成したときと同じである。

【0087】ステップ506： $D^2$ 、(マハラノビスの距離)の算出

基準空間作成時と同様に、即ちステップ502、503の演算によって $D^2$ を算出する。

【0088】ステップ507：基準空間との比較、診断・判定

ステップ506で得られた $D^2$ と、前記基準空間の値とを比較し、 $D^2$ のデータがサンプリングされた時点の付帯機器が $D^2_{INI}$ を超えていないかどうかで正常状態にあるかを判断する。 $D^2 \leq D^2_{INI}$ であれば、ステップ505へ戻り、各物理量の新たなデータをサンプリングして、再度 $D^2$ を算出する処理を繰り返すことで、付帯機



器へのリアルタイムでの監視を行う。

【0089】この時、管理機器の表示手段10bには、その結果を提示する。また、前記ガイダンス機能により、定期的にその結果を帳票として出力する。

【0090】ステップ508：傾向曲線の算出、推定ステップ508の診断で $D^2_i > D^2_{i,n1}$ となった場合は、異常の兆候ありと判断され、本ステップに移り異常状態の傾向曲線の算出を行う。

【0091】具体的には、まず第一に、 $D^2_i > D^2_{i,n1}$ となつてからしばらくの期間、データのサンプリングを行い、 $D^2_i$ のデータを積み上げていき、ある程度 $D^2_i$ が積み上がったところで、その間の傾向を見る。その結果、増加傾向であれば、付帯機器が“劣化の兆候”或いは“注意”であるという判断を行い、 $D^2_i > D^2_{i,n1}$ となった時間を( $T_s$ )として設定する。

【0092】ステップ509：速度予測・寿命管理次に、ステップ508での劣化兆候或いは異常の兆候診断後も継続して付帯機器からの $D^2_i$ 値を計算し、そのデータを積み上げて行き、その進行状況を最適な所定の関数で適合し、運転可能最終時刻を予測する。

【0093】本発明では、この進行状況を表現できるトレンド関数として、一般的な線形関数と指数関数、及びこの進行状況のトレンドの最終端の傾向は飽和現象になるものと仮定し、更に一般的な故障の確率密度関数の傾向現象値がロジスティックな関数であることから、その終端で飽和の傾向を呈する成長形関数と、更には、それらの関数に該当しない特殊関数を適用する。

【0094】これらの関数の係数は、逐次収集されたデータの $D^2_i$ の計算値から最小自乗法で決定される。

【0095】図7(1)(2)は、図5(2)で説明した監視状態のステップを更に詳細に示した図である。

【0096】まず、サンプリングデータの読み込み開始時間 $T=0$ をセットして監視を開始する。 $D^2_i$ の値が判断基準値である $D^2_{i,n1}$ を超えない場合は、その状態を管理機器の表示手段10b上に表示し、時間 $T$ をインクリメントして( $T(i+1)=T(i)+1$ )、監視モードを連続して繰り返す。

【0097】 $D^2_i > D^2_{i,n1}$ となった場合は、フラグを立て( $K=1$ )、データを暫らく蓄積して増加傾向か否かの判断を行い、増加傾向と判断されなければ監視モードを繰り返す。増加傾向と判断されれば、劣化或いは異常の発生と診断し、 $D^2_i > D^2_{i,n1}$ となった時刻を兆候発生時間( $T_s$ )として確定する。前述の判定基準値 $D^2_{i,n1}$ は、基準空間作成時に同時に作成してある数値である。即ち、前述の如く、図5(1)に示す様に、この基準空間は付帯機器の正常動作時の状態で有り、その平均値が“ $\approx 1$ ”で、かつ各パラメータの変動を含んだ標準偏差 $\sigma$ の空間である。従って、計算された $D^2_i$ の計算値が( $D^2_{i,n1}$ が $3\sigma$ で設定している場合)、“ $1 \pm 3\sigma$ ”以内であれば危険率0.3%以内で付帯機器の状態に変

化無しと判断され、一方、“ $1 \pm 3\sigma$ ”以上であれば危険率0.3%以上で付帯機器の状態に変化有り、或いは付帯機器に劣化・異常の兆候有りと判断する。尚、本発明では、 $D^2_{i,n1}$ の値を基準空間の標準偏差 $\sigma$ より $3\sigma$ から $3.5\sigma$ の範囲とし、その間の値を任意に設定可能としている。

【0098】次に付帯機器の劣化・異常の兆候発生時刻 $T_s$ を確定した後は、劣化・異常状態の進行速度を予測する。具体的には、 $D^2_{i,n1}$ 値或いは実績稼動時間( $T_e$ )に至るまで付帯機器の状態変化の進行を監視しながら、新たなデータを読み込む毎に、その進行状況を前述した線形関数、指数関数、成長形関数、特殊関数の内の最適な関数で算出し、その時刻における運転可能最終時刻を予測し続ける。尚、上記の $D^2_{i,n1}$ の値は、前記 $D^2_{i,n1}$ と同様に基準空間の作成時に複数の物理量から計算されるが、この値は本発明では、下記の如く設定した値を設定する。

【0099】 $D^2_{i,n1}$ の定義

(1)：付帯機器の最大正常動作条件を用いる方法。

【0100】各付帯機器には、付帯機器の運転仕様ににより、付帯機器を必然的に停止しなければならないパラメータの値(例えば、最大許容圧力値、最高許容表面温度、最大許容流量、最高許容電力、最大許容加速度、回転数等、複数の物理量の値)、即ち付帯機器の最大正常動作条件が有るので、これらの値を用いて上記の基準空間を作成した手法(図5(1)のフロー)にて $D^2$ を算出し、この $D^2$ を基にその下限値の値(平均 $-3\sigma$ )を $D^2_{i,n1}$ として定義する。

【0101】(2)：進行速度を求める関数を用いる方法。

【0102】各付帯機器に対して実績稼動時間 $T_e$ のデータが蓄積されている場合は、前述した進行速度を求める関数(線形関数、指数関数、等)に $T_e$ を代入して、 $D^2_{i,n1}$ の値を計算する。この値は、データ読み込みの度に演算式が逐次更新されるので、それに対応してその値も変化する。

【0103】前記“ $D^2_i$ ”の値が“ $D^2_{i,n1}$ ”の値以下、或いは“ $T(i)-T_s$ ”の値が“ $T_e$ ”の値以下ならば、管理機器の表示手段10bに“付帯機器の保全、メンテナンスの必要時期である(予防時期)”旨の警告を表示し、管理者或いは作業者に保全管理の徹底を促す。管理者が何らかの対応を行わず、結果的に“ $D^2_i > D^2_{i,n1}$ ”或いは“ $T(i)-T_s > T_e$ ”となった場合には、指標に所定の安全率を考慮して、追跡シーケンスを止め、“保全要求”を出すと共に、他のシステム(管理機器)にもその情報を開示する。

【0104】かかる段階で付帯機器の保全の情報が開示され、該当付帯機器は修理、メンテナンスが実施され、また管理機器(1)1の入力手段10cにより、フォーマット61にその内容を残し、データベース101に保

存する。更に、図8に示すフォーマット62形式で、当該付帯機器毎にその稼働実績や保守内容等が蓄積されて行く。

【0105】修理・メンテが終了した時点で、再度基準空間を作成し、前述のシーケンスに戻り、監視と診断と劣化速度の予測を行う。

【0106】図8は、前記データベース101内のフォーマット62を示したものであり、いずれも付帯機器の“付帯機器の保全実績”の情報データの構成例であって、二次元の“表”の形式をとっている。

【0107】各付帯機器の“付帯機器の保全実績”の実績データにおいて、各付帯機器毎に登録し、データベースとして構成される。フォーマット62で管理される情報は、“付帯機器名称”、“プラント名称”、付帯機器が設置された“プロセス名や用途”等の共通管理データ部と、付帯機器の“メンテ時期”や“実績稼働時間 $T_e$ ”や保守・メンテに要した“修理費用”や“寿命、MTTF値”等の保守・保全を実施した付帯機器個別前実績データ部とからなっている。

【0108】以上述べたように構成されているフォーマット62は、付帯機器である排気ポンプ31、32、送風機33の自動監視の立ち上げ時、即ち、本システムの付帯機器の監視開始に先立って、予め管理機器(1)のデータベース101に設定されているものである。

【0109】管理機器(1)1の表示手段10bは、データベース101から実績項目情報を順次読み出し、各フィールド毎に必要な情報を分配し表示する。

【0110】前記実績項目情報は、表示手段10bに出力して表示されると共に、計算手段10aによって、そのデータを加工して表示手段10bにてその結果を表示する。付帯機器の管理者或いは作業員は始業前点検や日常点検作業の開始前に、表示手段10bに表示された付帯機器の情報により、プラントに設置される付帯機器全体の総括的な保全計画を把握することが可能である。

【0111】また、管理機器(1)1のデータベース101のハードウェア資源には限りがあるので、逐次別の媒体に移設して管理することが必要なため、ある期間保存された後は保存設定数を越えたものより、自動的にバックアップをとるといった運用もできる。

【0112】図9に、前記 $D^2$ の時系列データとその速度予測曲線を示す。

【0113】前述の如く、図7(1)(2)に示すフローに従えば、付帯機器の劣化の発生時期を確度良く判断・診断が可能となる。又、その最大許容値 $D^2_{max}$ や実績稼働時間 $T_e$ も高確度で予測可能となる。従って、今後 $D^2$ がどのように進展し、いつ管理基準外に至るかを予測することは、付帯機器の予防保全上、極めて重要である。

【0114】一般には、前述の実績データをベースにした $T_e$ 値は、付帯機器の器差、設置環境、外部の配管等

の組みみや接続の仕方が相違するため、適用し難い。このため、 $D^2_{max}$ と実際の観測データを基に計算された $D^2$ から、確度の高い適合曲線を予測し、劣化速度を予測し、最終 $T_e$ を求める方法が適用される。又、付帯機器が新機種の場合は当然の如く、実績稼働時間 $T_e$ がデータベース101に無いので、適合曲線を予測して決定する必要がある。

【0115】かかる状況により、本システムでは前述の適合曲線を求める手法に主体を置き、実績稼働時間 $T_e$ は、同付帯機器の $n$ 回の保守・メンテナンスを行い、実績を収集して、ある付帯機器のみに適用するようにしている。従来、この種の適合曲線としては、

①：直線近似形( $y = \alpha * t$ )

②：指数近似形( $y = \exp(\alpha * t)$ )

③：指数形の変形形( $y = \exp(\alpha * t + \beta) * t$ 、  
( $y = \exp((\alpha * t) * \exp(\beta * t))$ )

等があり、各パラメータ毎に適合曲線を求め、活用されていた。

【0116】しかし、付帯機器がいくつかの劣化或いは異常のパターンに至った場合には、同じ機種でも、上記の適合曲線以外にも種々の適合曲線が発生するので、確度の高い適合曲線が得られておらず、又、前記各パラメータの変化を総合的な観点から捉えることができていなかった。

【0117】本システムでは、前述の様に付帯機器の状態変数の数に無関係に、 $D^2$ の指標値のみで、付帯機器の状態変化或いはその動作状況モードを表現でき、且つその傾向を前述の適合曲線にて近似するので、付帯機器の状態変化をより正確に推定できる。

【0118】図9はその $D^2$ の値と各パラメータを時系列に示した図である。

【0119】図に示す様に、監視の初期状態( $T_0$ 時)においては、 $D^2$ は前記基準空間内にある。継続して図7(1)(2)の処理フローに従い、監視を継続していくと、 $T_s$ 時に、 $D^2$ の値が管理値である $D^2_{lim}$ 以上となり、また $T_s + 1$ 時には増加の傾向でもあった。従って、この $T_s$ 時を付帯機器の劣化或いは異常或いは故障の始点と診断できる。

【0120】さらに、監視を継続して、 $D^2$ の値を計算していくと、徐々に $D^2$ は増加の傾向であった。即ち、付帯機器の正常動作時の基準空間から、徐々に付帯機器の状態が何等かの理由(配管や付帯機器内の副生産物が増加・蓄積されるという原因から生じる負荷が増加中、部品の劣化が進行中、部品が故障・磨耗中等)で、もはや正常な動作ではなく、その状態がある速度で進展していることを意味している。この値は最終的に、付帯機器を停止しなければ機器自身が破損して使用出来なくなる状態変数値(換言すれば、付帯機器の運転の圧力トリップ値や付帯機器の許容最高表面温度値)から計算される $D^2_{max}$ まで進行し続ける。この $D^2_{max}$ は付帯機器によ

って相違するので、前述の基準空間作成時に付帯機器毎に決定する。

#### 【0121】○ 進行速度曲線の推定

次に、 $D^1_i$ と $D^2_{n+1}$ より、その進行速度を予測する手法について説明する。

【0122】図9から、適合曲線の始点は $T_s$ 時の値であり、これは前述の如く、 $1 \pm (3 \sim 3.5) * \sigma$ であり、 $T_s$ 以降は、監視・計算された $D^1_i$ の実績データ値であり、時間の経過と共に、データが蓄積される。その終端は、 $D^2_{n+1}$ である。

【0123】かかるデータから最適な適合曲線を予測する。

【0124】以下これらのデータより、前記機器の劣化速度の予測手法を詳細に説明する。

【0125】機器や部品等の寿命推定は、一般には、寿命試験に基づくデータとフィールドデータに分けられ、様々な試験方式が提案されている。一般的には、同一の試験片を同時に試験機にかけ、ある一定時間で試験を打ち切り、その残存数から寿命を推定する場合と、初めから $n$ 個の故障が発生した場合にその試験を打ち切り、その時間から寿命を推定する手法とがある。

【0126】しかし、その試験は一般に試験・実験室で実施されるため、実際に機器・部品が使用される環境とは相違するので、実データの再現性に欠ける。或いはそのデータ数には限りがあるので信頼性も劣る。

【0127】従って、機器・部品の使用されるフィールドでのデータは非常に重要であるが、そのデータには、故障のデータや無故障のデータが混在し、その故障の種類も千差万別で有るので、統計手法を用いたランダムなデータの取り扱いを実施しなければならない。

【0128】かかる統計手法としては、試験データ或いはフィールドデータから、その寿命を予測する場合に適応される分布は、主にワイブル分布と指数分布で有り、今日まで種々のデータが積み上げられ、これらの分布に従うことが実証されている。更にワイブル分布は付帯機器の“最弱リンクモデル”として導入され、機械・部品等の寿命データはワイブル分布に従っていることが確認されており、広く活用されてので、本システムでも前記付帯機器の状態変化をワイブル分布で表現する。ワイブル分布は次式で表わされる。

#### 【0129】

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left((t - \gamma)/\eta\right)^m\right)$$

ここで、 $m$ は形状パラメータ(確率密度関数が変わる)、 $\eta$ は尺度パラメータ、 $\gamma$ は位置パラメータと呼ばれ、その分布を決定するパラメータであり、 $t$ は時間である。上式より $t = \eta$ の時、その信頼度は0.37である。時刻 $t$ における故障率 $\lambda(t)$ は、

$$* \lambda(t) = (m/\eta) * (t/\eta)^{(m-1)}$$

で有り、 $m$ の値に応じて、その故障形が分類されている。

【0130】 $F(t)$ は各データに対して、(小さい方からの故障順位)/(総データ数+1)で推定されるか、或いは累積ハザード： $H(t)$ を用いて、

$$F(t) = 1 - \exp(-H(t))$$

で推定し、その時の故障率 $\lambda(t)$ は、

$$\lambda(t) = (\text{時刻}(t, t+dt) \text{の故障数}) / (\text{時刻} t \text{の直前の生存数})$$

で有る。

【0131】以上より、その手順は下記となる。

①：データを小さい順より並べる。

②： $F(t)$ の推定値として、(小さい方からの故障順位)/(総データ数+1)

③： $m$ を求める。

④： $\eta$ を求める。

⑤：ある規定の時間 $t$ における信頼度を求める。

【0132】又、上述の如く累積ハザードによる場合は下記となる。

①：データを小さい順より並べる。

②：その逆順位の逆数を計算する。これは各時刻でのハザードの推定値である。

③： $F(t) = 1 - \exp(-H(t))$ を求める。

④： $m$ を求める。

【0133】⑤： $\eta$ を求める。

⑥：ある規定の時間 $t$ における信頼度を求める。

【0134】最終的に、その時間が決定される。

【0135】一方、他の方法として、取得されるデータが多い場合、例えば常設形の試験機でその状態を逐次監視できる試験の場合等には、下記の手法により前記機器の状態変化を推定できる。

【0136】即ち、対象とする寿命を表わす変数を $X$ 、取得されるデータの状態を表わす変数を $Y$ とすると、観測できる状態は $X$ と $Y$ の最小値であり、且つそのデータは試験を止めたか或いは継続されているかである。従って、 $X$ 、 $Y$ は観測されずに、前記 $X$ 、 $Y$ の母集団内のある時刻の事象 $(t, \delta)$ を観測していることになる。つまり、これらのデータは前記 $X$ 、 $Y$ の母集団内のランダムデータであるため、前記 $X$ と $Y$ は $(0, \infty)$ をとる確率変数で表現できる。

【0137】従って、今 $(t, \delta)$ が $n$ 個観測されているとすると、その尤度 $(L)$ は

【0138】

$$L = \prod_{i=1}^n \{f(t_i) * S(t_i)\}^{(\delta_i)} * \{g(t_i) * R(t_i)\}^{(1-\delta_i)}$$

【0139】となる。 $f(X)$ 、 $g(x)$ は $X$ 、 $Y$ の確率密度関数であり、 $S(x)$ 、 $R(X)$ はその信頼度関数である。この尤度を $X$ 、 $Y$ の未知母数のみ関数とし、これを最大にするものを前記未知母数の推定値とする。

【0140】 $X$ の分布を推定する場合は、

$$1/m + \sum (\log(t_i) * \delta_i) / \sum \delta_i = \sum (\log(t_i) * t_i^a) / \sum t_i^a$$

$$\eta = (\sum (t_i^a) / \sum \delta_i)^{1/a}$$

図10に、本システムにおける適合曲線予測のフローを示す。

【0142】図9に示す様に、監視の初期状態（ $T_0$ 時）においては、 $D^1$ は前記基準空間内にある。継続して図7の処理フローに従い監視を継続しておく、 $T_s$ 時に、 $D^1$ の値が前記管理値である $D^1_{max}$ 以上となり、また $T_s+1$ でも増加の傾向にあった。従って、この $T_s$ 時を機器の劣化或いは異常或いは故障の始点と診断できる。

【0143】さらに、監視を継続し、 $D^1$ の値を計算していくと、徐々に $D^1$ は増加の傾向であった。即ち、付帯機器の正常動作時の基準空間から、徐々に付帯機器の状態が何等かの理由（部品劣化、部品の故障、磨耗等）で、もはや正常な動作ではなく、その状態がある速度で進展していることを意味している。この値は最終的に、付帯機器を停止しなければ付帯機器自身が破損して使用※

$$1/m + \sum (\log(t_i) * \delta_i) / \sum \delta_i = \sum (\log(t_i) * t_i^a) / \sum t_i^a$$

$$\eta = (\sum (t_i^a) / \sum \delta_i)^{1/a}$$

次に、前記 $T_s$ と $D^1_{max}$ と、この $D^1$ （ $=\delta_i$ ）と $T_i$ （ $=t_i$ ）から、適合曲線を求める。本システムでは、この適合曲線の形としては、直線形、指数形、成長曲線形、特殊関数形を採用している。このように複数の関数形を採用する理由としては、一般に劣化・故障・異常の進行速度は、その終端で飽和現象を示す場合も有り得ること、並びに $D^1$ の観測データにおいて平均的には増加傾向であるが、その値が大きくハンチングした場合も有り得るため、このような場合も適合精度を劣ることなく予測するためである。

【0147】これらの関数形の具体例を以下に示す。

①：直線（多次元を含む）近似形：

$$y = A + B * t,$$

$$y = A + B * t + C * t^2 + \dots$$

②：指数近似形とその変形形：

$$y = A * \exp(B * t + C),$$

$$y = A * \exp((B * t) * \exp(C * t))$$

③：成長関数形：

$$y = A / (1 + \exp(B + C * t + D * t^2))$$

④：特殊関数形：

$$y = A / ((t - B)^2 + C) + D + E * t$$

$$y = A * t^{(-1)} + C * t^{(-2)}$$

次に、これらの関数計算値と実績データとの残差を各関数毎に計算し、その残差が最小の関数形が選出される。この選出された関数形により、 $T_z x$ を求める。この値

$$* L = \prod \{f(t_i)\}^{(-1)} * \{R(t_i)\}^{(1-1)}$$

とし、計算上は、これを最大化すれば求まる。前述のワイブル分布の最大値は、下記の式を解けばよいことになる。

【0141】

※出来なくなる状態変数値（換言すれば機器運転のトリップ値や機器の最高許容値）から計算される $D^1_{max}$ まで進行し続ける。この $D^1_{max}$ は付帯機器によって相違するので、付帯機器毎に決定する。

【0144】かかるこれらのデータから、前記付帯機器の劣化速度を精度良く、予測するのであるが、計算に用いる変数としては、基本的には、前述の如く、前記 $T_s$ 、 $D^1_{max}$ 、と常時監視される $D^1$ のみで有り、 $T_e$ は存在しない。

【0145】従って、先ず第一に、 $T_e$ を予測する。この値は、観測値から付帯機器の劣化状態の分布の母集団を推定する場合に相当する。この分布がワイブル分布に従うものとすれば、下記の式により、 $t_i$ を求めることになる。

【0146】

は前述の如く、管理機器（1）1の表示手段10bに表示・開示される。このため、逐次付帯機器の状態変化を監視することが可能である。

【0148】かかるフローにおいて、選択される関数形はその残差が最小の関数が選択されるが、 $D^1$ が少な場合は直線形、指数形、成長形、特殊形のいずれが選択されても進捗予測には影響が少ない。何故なら、付帯機器の劣化状態は初期段階であり、その不信頼度が非常に低いので、無視できるレベルだからである。このため、場合によっては、データ点数がある程度蓄積された段階、例えば5点以上から追跡・適合を実施するフローでも構わない。

【0149】これらの関数形は、前記 $D^1$ が新たに観測入力された時点で再度計算され、最適の関数形が選択されるので、付帯機器の状態変化を観測される毎に忠実に捉えることができるため、予測結果の精度向上に寄与するものである。又、蓄積される $D^1$ が多い程、その適合曲線はその信頼度が向上する。

【0150】かかる上述したフローは、管理機器（1）1の計算手段10b内の尤度法のアルゴリズムにより $m$ と $\eta$ を求めているが、前述の如く、

①：データを小さい順より並べる。

②： $F(t)$ の推定値として、（小さい方からの故障順位）／（総データ数+1）、或いは、その逆順位の逆数を計算する。これは各時刻でのハザードの推定値であ

り、 $F(t) = 1 - \exp(-H(t))$ である。

③:  $m$ を求める。

④:  $n$ を求める。

⑤: ある規定の時間  $t$  における信頼度を求める。

【0151】より、 $T_e$ 、 $T_z x$ を計算するフローと計算アルゴリズムでも良い。

【0152】以上かかる予測法によれば、付帯機器の状態変化を精度良く予測できるので、その劣化速度も高品質に予測することができる。又、本手法によれば、付帯機器の器差や外部環境の影響も低減できるので、保守・メンテナンスに好都合である。

【0153】図11に本システムの管理機器(1)1の表示手段10bの構成例を示す。

【0154】本システムでは前述の如く、前記データベース101には各付帯機器毎に二次元の“表”の形式をとっており、その“行”毎に付帯機器の状態変数や保守管理情報等が蓄積されているので、表示手段10bでは、それらのデータから計算手段10aにて計算される項目と監視される状態パラメータを加味し、少なくとも、付帯機器毎の状態変化を知らしめる項目、例えば“正常稼動中”、“注意傾向”、“予防時期”、“停止・メンテ中”等のカテゴリーに分類して表示・開示することができる。

【0155】また、より詳細な状態変化を確認する場合は、入力手段10cにより、所定の付帯機器に対して、“詳細情報要求”のカテゴリー部を入力すると、該当付帯機器の“行”を順次読み出し、各フィールド毎に必要な情報を分配して“時系列変化”や“パラメータの度数分布”や“リアルタイムの状態変化”等を可視化して開示することができる。

【0156】更に、入力手段10cにより、所定の付帯機器に対して、“保守・来歴・アラーム要求”のカテゴリー部を入力すると、前記各“行”の情報の内、保守管理項目の“アラーム”と“保守実績”等の情報が、表示手段10bに出力して表示される。又、管理者或いは作業者は、表示手段10bに表示・開示された情報に従って、付帯機器の入力手段10cにより、その管理内容を保存する場合は、システムのガイダンスに従って、その内容・項目を、各付帯機器毎に前記フォーマット群の所定の位置に入力登録し、データベース101の情報を更新できる。一方、入力手段10cから、随時その内容を順次読み出し、付帯機器の変遷状況、トレンド、来歴等の情報を得ることもできる。またその内容を所定の形式の“報告書”に印刷することもできる。

【0157】かかる構成によれば、付帯機器の管理業務時に必要な情報を管理機器(1)1の表示手段10bに表示し、データベース101から随時その内容を順次読み出し、付帯機器の保守情報やその状態変化を容易に得ることができるので、その管理業務の効率が向上する。更に、管理機器(1)1の内容は、LAN13を介して別

の管理機器(2)2にその内容を開示することができるので、管理者の業務負担を低減できる。

【0158】更には、生産設備や生産の日程を管理する上位システムに付帯機器の“稼動状態”や“保全計画”を開示することができるので、ライン稼動計画やラインの工程管理や生産計画の円滑化が達成できる。

【0159】これまで述べた本システムの付帯機器の監視・診断・予防保全は、半導体ラインの如くそのプロセスの規模が大きくなってくると、製造設備の台数も増加し、それに伴って排気ポンプ等の付帯機器も増加し、稼動、修理等の来歴管理や部品管理などの付帯機器全般の運用管理に手間を費やすこととなるため、システムのには、柔軟で且つ拡張性が良いことが必要である。

【0160】このため、本システムでは、変換器20, 21, 22で付帯機器の状態変数を収集することで、ハード的に区分する構成としている。即ち、増設が必要である場合は、該当付帯機器用の変換器とセンサ群をケーブル202で接続し、且つ変換器をケーブル201にて何れかの管理機器に付加すれば良い。或いは、既設の変換器のチャンネルが余っている場合にも、その入力端子部にケーブル202を接続することで接続できる。この接続作業は別々に実施できるので、管理機器を停止する時間は非常に少なく、短時間で再立ち上げが可能である。

【0161】一方、管理機器では、ガイダンス機能やデータベース101の書式を追加する必要があるが、登録・追加に当たっては、各付帯機器単位でテーブル化されており、また既にリレーション化されているので、簡単なテーブルのみの追加作業で済む。このため、短時間で再立ち上げが可能となっている。

【0162】図12は本システムの状態変化を各部位毎に整理した図である。

【0163】各部位へのデータのフロー、各部での処理内容は既に説明したので割愛するが、本システムでは、総合管理用のフォーマット62をデータベース101に追加している。このフォーマット62では、付帯機器の適用されるプラントやライン毎に付帯機器の保全や保守の実績管理を行い、これらの情報から、より総合的な予防保全と計画を実現することを目的としている。

【0164】即ち、図8に示す様に、付帯機器の稼動状況とその実績をベースとした“当該機器の保全実績”を主体としたデータの構成例であって、二次元の“表”の形式をとっている。

【0165】各付帯機器の“当該機器の保全実績”の実績データにおいて、各付帯機器毎に“行”として登録し、この“行”を各付帯機器毎に並べてデータベースとして構成される。“行”情報は、“機器名称”、“プラント名称”、“付帯機器が設置されたプロセス名や用途”等の共通部データと、付帯機器の“メンテナンス回数”や“実績稼動時間”や“保守・メンテに要した費

用”や“寿命、MTTF値”等の保守・保全を実施した実績データ部とからなり、各々の内容が“表”における“列”に対応して登録されている。付帯機器毎の“寿命”或いは“平均故障寿命(MTTF)”は前述の統計手法により、前述のTs、D<sup>2</sup>Max、D<sup>2</sup>iのデータより算出し、蓄積したデータである。

【0166】かかる構成により、付帯機器を新たに導入する場合やn倍プロセスを立ち上げ時の付帯機器の選択時に、これらのデータより、その計画段階から、保守費用や投資・回収等の経済性の指標の観点でも機器の管理と計画を実現でき、より効率の高い管理・計画業務が可能となる。

【0167】本システムの他の実施例としては(図示せず)、図1に示す構成において前記センサ群の情報をRS232C或いはRS485等の通信ケーブル201による接続をロケットやデバイスネット等のネットワークで接続し、前記センサ群の情報を変換器21を介さないで管理機器(1)1に直接入力し、収集する方式とする。この時、前記振動センサに関しては変換器の周波数分析機能を管理機器の観測データの収集後のフローに、その機能が付加される構成となる。

【0168】また、付帯機器の進展速度を求める適合曲線は、前述の実施例で示した関数には限定されず、適宜これらの変形形や新たな関数を追加・具備させて適用することも可能である。

【0169】かかる場合でも、本システムの効果は損なわれることなく、ハードの構成要素を低減できると共に、ネットワークによりオープン化が拡張され付帯機器の情報の展開や開示が益々容易になり、拡張性の優れたシステムとなる。

【0170】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の機器監視・予防保全システムによれば、付帯機器の正常動作時及び異常・故障動作時の劣化兆候や進展速度の状態変化をオンラインで自動収集できることにとどまらず、該当する付帯機器の総合的な監視と劣化の診断・分析・判断を実施できるようにしたので、確度の高い機器の予防保全を実現できる。

【0171】また、劣化・故障などの判断やその処置を的確にかつ迅速に行うことができるので、製品の品質と生産性が向上する。

【0172】また、データベースには、監視される付帯機器の監視データのみではなく、実績稼働データやメンテナンス履歴等の保全用の管理データを蓄積でき、付帯機器の総合的な管理業務を実現できるので、保全管理や保全計画の管理業務を低減できる。

【0173】そして、メンテナンス時や付帯機器の増設時においては、データ収集を停止することなく、該当部分の修正のみで短時間で実施することが出来るので、柔軟性を有し、作業工数を減らすことができる。

【0174】更に、システムの構成機器として、特殊な機器を使用しないので汎用機器のみでシステムを構成することが可能で有り、経済性に優れる。

【0175】このように本発明の機器監視・予防保全システムでは機器の状態変化を的確に捉えて確度の高い診断と追跡が実現されているので、信頼性に優れ、且つ製造設備のトータルメンテナンスにも寄与できるので、製品の品質が向上するとともに歩留まりも向上し、生産効率が向上に寄与できるシステムである。さらに、システムのメンテナンス環境も非常に使い易くなっており、さらにシステムの構成費の低減をも可能としている。さらに、オンラインシステムの短期立ち上げが可能なので、増々の省力化を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示す機器監視・予防保全システムのシステム構成図。

【図2】機器の以上要因の説明図。

【図3】データフロー説明図。

【図4】データサーバ内フォーマットの実施例。

【図5(1)】データ変換、加工フロー説明図。

【図5(2)】データ変換、加工フロー説明図。

【図6】空間作成法と診断手法説明図。

【図7(1)】処理フロー図。

【図7(2)】処理フロー図。

【図8】データサーバ内フォーマットの実施例。

【図9】機器の状態変遷説明図(例)。

【図10(1)】適合曲線予測フロー説明図。

【図10(2)】適合曲線予測フロー説明図。

【図11】表示手段部の表示例。

【図12】システムの状態変化と機能推移図。

【図13】機器の劣化・異常診断の処理手法・手順を示すフローチャート。

【符号の説明】

1…管理機器(1)、2…管理機器(2)、13…LAN、20~23…変換器、30、34…製造設備、31、32…付帯機器(排気ポンプ)、33…送風機、41…配管、51、54、55…センサ(振動)、52、56…センサ(温度)、53…センサ(圧力或いは流量)、57…センサ(音響或いはアコースティックエミッション)、58…制御ボックス、101…データベース、201…通信ケーブル、202…センサ信号ケーブル。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**